

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

Návrh konstrukce střižného nástroje s prodlouženou životností

Design of Forming Die with Extended Life

Student: Bc. Pavel Hájek

Vedoucí diplomové práce: prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.

Ostrava 2009

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Pavel Hájek**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Téma: **Návrh konstrukce střížného nástroje s prodlouženou životností**

Design of Forming Die with Extended Life

Zásady pro vypracování:

1. Rozbor stávajících konstrukcí střížných nástrojů
2. Metody predikce životnosti tvářecích nástrojů
3. Návrh konstrukce střížného nástroje vybraného dílce
4. Analýza namáhání a životnosti navrženého střížného nástroje
5. Diskuze a hodnocení dosažených výsledků

Seznam doporučené odborné literatury:

BAREŠ aj. *Lisování*. Praha: SNTL, 1971, 544 s.
Qform. Uživatelská příručka. Moskva: Quantor Ltd., 2000.
KOTOUC, J. *Nástroje pro tváření za studena*. Praha: CVUT, 1978, 158 s.
HRUBÝ, J., PETRUŽELKA, J. *Výpočetní metody ve tváření*. 1.vyd. Ostrava, VŠB – Technická univerzita 2002. 173 s.
MIELNIK, E.M. *Metalworking Science and Engineering*. New York: McGraw-Hill, 1991

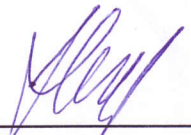
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.**

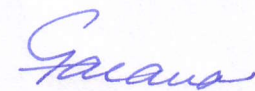
Datum zadání: 29.09.2008

Datum odevzdání: 22.05.2009





prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Anotace

HÁJEK P. Návrh konstrukce střížného nástroje s prodlouženou životností. Ostrava, Katedra mechanické technologie, Fakulta strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2009, Diplomová práce, vedoucí Hrubý J.

Práce se zabývá konstrukcí střížných nástrojů s ohledem na jejich životnost. Kromě návrhu konkrétního postupového střížného nástroje mapuje i nové technologie pro zvyšování životnosti nástrojů povlakováním a využití počítačové grafiky při konstruování. Práce také popisuje vybavení středně velké komerční nástrojárny, které je nutné pro kvalitní výrobu nástrojů a místní firmu zabývající se povlakováním nástrojů a výrobou strojů pro povlakování.

Annotation

HÁJEK P. A project of an assembly of a shear machine with a prolonged lifetime.

Institute of mechanical technology, Faculty of mechanical Engineering VŠB – Technical University of Ostrava, 2009.

Dissertation, the head chef Hrubý, J.

This dissertation is concerned with shearing machine assembly with regard to the lifetime. Except for the project of a particular shearing machine, this work also introduces new technologies for lifetime increase with the use of plating and the use of computer graphics

for designing. Furthermore, it describes a middle-sized commercial tool room equipment which is necessary for a first-rate tool engineering, and a local company that specializes in tool plating and in the plating machine construction.

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Šumperku dne 28.4.2009

Prohlašuji, že:

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Šumperku dne 28.4.2009

.....

Pavel Hájek

Janošíkova 9

778 01 Šumperk

Obsah

1. Úvod	- 7 -
2. Seznam symbolů a značek	- 8 -
3. Rozbor stávajících konstrukcí střížných nástrojů	- 9 -
3.1. Základy stříhání	- 9 -
3.2. Střížná vůle	- 10 -
3.3. Přesnost a jakost povrchu při stříhání	- 12 -
3.4. Střížná síla	- 12 -
3.5. Síla stírače a vyhazovače	- 14 -
3.6. Nástřihový plán	- 14 -
3.7. Druhy střížných nástrojů	- 16 -
3.7.1. Základní části střížných nástrojů	- 16 -
3.7.2. Jednoduché střížné nástroje	- 17 -
3.7.3. Postupové střížné nástroje	- 17 -
3.7.4. Sloučené střížné nástroje	- 18 -
3.7.5. Sdružené střížné nástroje	- 19 -
4. Životnost tvářecích nástrojů	- 20 -
4.1. Všeobecné aspekty životnosti	- 20 -
4.2. Druh a kvalita nástroje	- 21 -
4.2.1. Technologičnost konstrukce výstřížků	- 21 -
4.2.2. Materiály pro střížné nástroje	- 22 -
4.2.3. Tepelné zpracování materiálů pro střížné nástroje	- 23 -
4.2.4. Kvalita výroby nástrojů	- 24 -
4.3. Druh a vlastnosti stříhaného materiálu	- 26 -
4.4. Péče o nástroj	- 27 -
4.5. Volba lisu	- 27 -
5. Moderní metody zvyšování životnosti	- 28 -
5.1. Povlakování nástrojů	- 28 -
5.1.1. Metoda PVD	- 29 -
5.1.2. Metoda CVD	- 30 -
5.1.3. Metoda PA CVD	- 31 -
5.2. Vývojová a výrobní firma SHM, s.r.o. Šumperk	- 31 -

6. Konstrukce střížného nástroje	- 33 -
6.1. Postup při konstrukci střížného nástroje.....	- 33 -
6.2. CAD a CAD/CAM systémy	- 33 -
6.2.1. Vývoj CAD a CAM	- 34 -
6.2.2. Rozdělení CAD systémů	- 34 -
6.3. Směrnice pro konstrukci	- 36 -
6.3.1. Střížnice	- 36 -
6.3.2. Základová deska.....	- 37 -
6.3.3. Kotevní deska, upínací deska.....	- 37 -
6.3.4. Vodicí lišty.....	- 37 -
6.3.5. Vodicí deska	- 37 -
6.3.6. Střížníky	- 38 -
6.3.7. Dorazy a hledáčky.....	- 40 -
6.3.8. Vyhazovače a stírače.....	- 40 -
7. Střížný nástroj pro konkrétní součástku	- 41 -
7.1. Základní varianta	- 41 -
7.1.1. Zadání	- 41 -
7.1.2. Nástřihový plán.....	- 41 -
7.1.3. Využití materiálu	- 41 -
7.1.4. Střížná síla.....	- 42 -
7.1.5. Grafické řešení umístění stopky.....	- 42 -
7.1.6. Pevnostní kontrola střížníků.....	- 44 -
7.1.7. Sestava nástroje.....	- 45 -
7.2. Střížný nástroj pro hromadnou výrobu	- 46 -
7.3. Simulace práce nástroje	- 47 -
8. Závěr	- 51 -
9. Seznam použité literatury	- 52 -
10. Přílohy	- 53 -

1. Úvod

Postavení průmyslu v ekonomice České republiky je zcela mimořádné. Jeho výkonnost se v letech 2000 až 2008 postupně zvyšovala, podíl průmyslu na hrubém domácím produktu činí v současné době okolo 32%. K nosným odvětvím průmyslu patří strojírenství. V České republice má dlouhou tradici, v době mezi světovými válkami patřilo Československo mezi deset nejvýznamnějších strojírenských zemí světa. Dnes je toto odvětví zastoupeno ve všech částech republiky, kromě velkých strojírenských závodů existuje značný počet drobných závodů a provozoven. Slabinou je velmi široký sortiment výroby, který činí až 60% světového sortimentu. K nejdůležitějším oborům strojírenství patří automobilová výroba, která se významným způsobem podílí na celkových hospodářských výsledcích České republiky.

Strategickým cílem strojírenství je zajištění kvality, efektivnosti produkce a produktivity práce a tím i zabezpečení nákladové konkurenceschopnosti. Jednou z možností, jak tyto cíle uskutečnit, je zapojení podniků do výzkumných programů při vyhledávání nových výrobních technologií, modernizace a inovace stávajících technologií. Ve strojírenské výrobě se to týká zejména obrábění a tváření. Tváření by mělo postupně vytlačovat obrábění z těch oblastí výroby, v nichž je náhrada možná. Lze jím docílit podstatné úspory nákladů na materiál, zvýšit přesnost výroby a zajistit nárůst produktivity práce. U řady výrobků je tváření jedinou možností výroby.

Tváření, ať už za tepla či za studena, zahrnuje širokou oblast operací. Podstatná část nákladů na tyto operace je daná výrobou a konstrukcí nástrojů, stejně tak na nich závisí efektivita jejich výroby a životnost. Tato práce se snaží zmapovat moderní způsoby jak výroby, tak i konstrukce nástrojů pro plošné tváření za studena, konkrétně pak střižných nástrojů s ohledem na jejich racionální konstrukci a životnost při provozu. Součástí práce je i návrh konstrukce střižného nástroje pomocí počítačové grafiky – CAD.

2. Seznam symbolů a značek

Označení	Jednotka	Název
F_t	N	teoretická střížná síla
F_s	N	skutečná střížná síla
F_{st}	N	síla k setření výlisku
F_v	N	síla vyhazovače
l, l_1, l_2, l_3, l_4	mm	délky střížných hran
S	mm^2	plocha
K	mm	krok
\check{s}	mm	šířka pásu stříhaného materiálu
t	mm	tloušťka stříhaného materiálu
a, b, c, e	mm	rozměry v nástřihového plánu
x	$\%$	využití materiálu
k, k_1, k_2, c_1	-	součinitele stavu nástroje
I	mm^4	kvadratický moment průřezu
j	mm	poloměr kvadratického momentu
l_0	mm	vzpěrná délka střížníku
v	mm	střížná vůle
k_s	MPa	střížný odpor
$\sigma_{K_t}(R_e)$	MPa	mez pevnosti v kluzu
$\sigma_{P_t}(R_m)$	MPa	mez pevnosti v tahu
$\tau_{P_s}(R_{ms})$	MPa	mez pevnosti ve smyku
σ_E	MPa	mez pružnosti
σ_d, σ_{Dd}	MPa	napětí a mez pevnosti v tlaku
R_a	μm	drsnot povrchu
A_1, A_3, A_{cm}	$^{\circ}C$	teploty překrystalizace
HRC	-	tvrdost podle Rockwella
E	MPa	modul pružnosti v tahu

3. Rozbor stávajících konstrukcí střížných nástrojů

3.1. Základy stříhání

Proces stříhání, jako jedna z možností plošného tváření za studena, je velmi progresivní způsob zpracování kovů. Zahrnuje postupné nebo současné oddělování materiálu ve stříhacím nástroji podél křivky stříhu, kterou tvoří obvod střížníku nebo střížnice. Má celou řadu stříhacích operací s příslušným názvoslovím. K nejdůležitějším patří:

- prosté stříhání je dělení materiálu na dvě části,
- vystřihování je vystřížení tvaru z materiálu po uzavřeném obrysu, vznikne výstřížek,
- děrování zhotoví otvory, kdy vystřížená část je odpad,
- prostřihování je pouze částečné oddělení materiálu uvnitř dílce,
- ostřihování odděluje přebytečný materiál po obvodu součásti,
- přistřihování zaručí dosažení přesných rozměrů součástí, hladkého a kolmého povrchu stříhu,
- přesné stříhání docílí přesných tvarů, rozměrů nebo hladkých ploch,
- vysekávání odděluje nekovový materiál nástrojem na podložce.

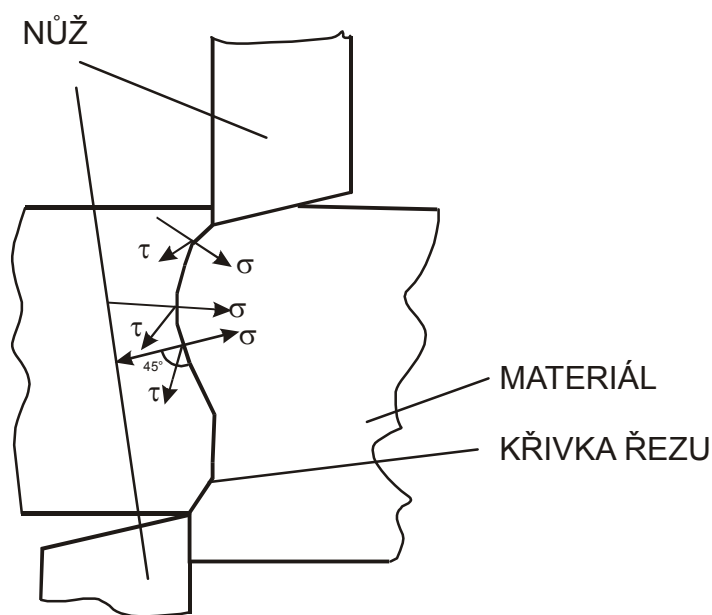
Vystřihování a děrování ve střížných nástrojích začíná dosednutím střížníků na stříhaný materiál a končí oddělením materiálu. Celý průběh se rozděluje do tří základních fází.

V první fázi tlačí střížník na materiál a vyvolá napětí, které je menší než mez pružnosti σ_E . Proto dochází jen k pružné deformaci. Hloubka vniku střížníku do materiálu bývá 5 až 8% z jeho tloušťky. Vlivem silových dvojic v rovinách kolmých ke střížným plochám se materiál mezi střížníkem a střížnicí ohýbá a tím vznikne na materiálu zaoblení.

Ve druhé fázi vznikne ve stříhaném materiálu napětí větší než je jeho mez kluzu σ_{Kt} . Důsledkem jsou trvalé deformace materiálu. Na konci této fáze dosahuje napětí v materiálu hodnoty meze pevnosti ve stříhu τ_{Ps} . Hloubka vniknutí střížníku do materiálu se pohybuje mezi 10 až 25% jeho tloušťky.

Ve třetí fázi je materiál namáhán nad mezí pevnosti ve stříhu, vznikají mikroskopické a následně makroskopické trhliny u hran střížníku a střížnice. Trhliny se rychle prodlužují, až nastane oddělení materiálu. Rychlost postupu trhlín je závislá na vlastnostech stříhaného materiálu. Tvrdý materiál se oddělí téměř okamžitě, měkký a houževnatý poměrně pomalu.

Tvar křivky řezu, jak je naznačeno na obr. 1, je způsoben nestejnou rovinou napjatostí a deformací mezi břity nožů. Toto nerovnoměrné rozložení způsobí změnu směru tahových vláken a tím se i mění směr trhlinek. Ty postupují ve směru maximálních smykových napětí v úhlu asi 45° ke směru tahových napětí. V okolí střížné plochy se stříhaný materiál trvale deformuje. Proto dochází k jeho zpevnění a tím ke snížení tvářitelnosti.



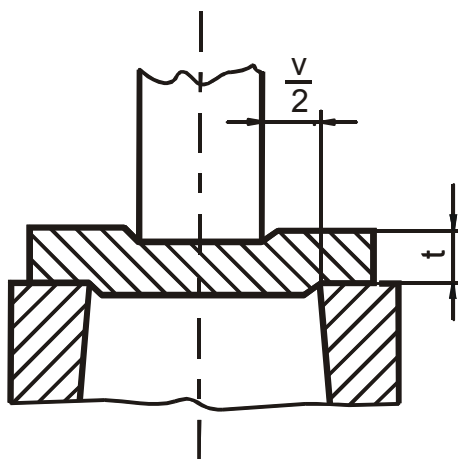
Obr. 1 – Křivka řezu

3.2. Střížná vůle

Jakost střížné plochy, velikost střížné síly a tím i související opotřebení nástroje jsou hlavním hlediskem k volbě střížné vůle mezi střížníkem a střížnicí. Tato vůle se realizuje na úkor střížníku, pokud při vystřihování je výstřížek výrobkem a jeho rozměr se získá podle rozměru střížnice. Při vystřihování, kdy otvor je výrobkem a výstřížek odpadem, se naopak vůle realizuje na úkor rozměru otvoru ve střížnici. Velikost střížné vůle má být rovnoměrná na všech místech křivky stříhu. Pokud tomu tak není, vznikají na střížné ploše povrchové vady a ostříny – střížná plocha není kvalitní. Při velké vůli dochází k ohybu stříhané součásti, při malé narůstá střížná síla a na střížné ploše vznikají přestřížené, ohlazené prstence.

Velikost střížné vůle závisí především na druhu materiálu a jeho tloušťce. Obvykle se stanoví v procentech z tloušťky materiálu t . Též ji lze stanovit výpočtem z pevnosti materiálu ve stříhu či střížného odporu, nebo volit z tabulek nebo diagramů. Některé údaje o střížné vůli udává i norma ČSN 2260015 (1977). Velikost vůle v procentech pro oceli je v následující tabulce. Velmi malé vůle jsou nutné pro nekovové materiály, např. papír, textil či plasty. Pohybují se v rozmezí 0,01 až 0,05 mm. Vzhledem k těmto malým vůlím je nutné přesné vedení nástroje.

Druh materiálu	Střižná vůle [v procentech t]	
	$t < 2,5 \text{ mm}$	$2,5 \text{ mm} < t < 6 \text{ mm}$
Ocel měkká	5	7 až 8
Ocel středně tvrdá	6	6 až 8
Ocel tvrdá	7 až 9	7 až 10



Obr. 2 – Střižná vůle

Pro výpočet vůle je v literatuře [1] uváděn vztah:

$$v = (0,1 \text{ až } 0,05) \cdot t$$

kde 0,1 se volí pro tvrdší oceli a 0,05 pro měkké kovy.

Pro plechy do tloušťky 3 mm je v literatuře [2] uváděn vztah:

$$v = 0,64 \cdot c \cdot t \cdot \sqrt{k_s}$$

kde:

k_s je střižný odpor [MPa]

$c_1 = 0,005 \text{ až } 0,025$

Nižší hodnota součinitele c_1 se volí pro kvalitnější povrch, při požadavku nejmenší střižné síly pak hodnoty vyšší.

3.3. Přesnost a jakost povrchu při stříhání

Přesnost výstřižků závisí na řadě činitelů:

- na přesnosti výroby nástroje
- na konstrukci nástroje
- na způsobu zajištění stříhaného materiálu při stříhání
- na druhu stříhaného materiálu
- na stavu stříhadla, zejména jeho opotřebení
- na velikosti střížné vůle
- na stříhaném materiálu, zejména jeho tloušťce a jeho pružné deformaci

Stříháním se zhotoví výlisky ve stupni přesnosti IT 12 až IT 14, nástroji s vedením vodícími sloupky a s přidržením polotovaru v okamžiku stříhu ve stupni IT 9 až IT 11 a při přesném stříhání materiálu speciálními nástroji do tloušťky max. 3 mm ve stupni IT 6 až IT 8.

Drsnost povrchu střížné plochy je $Ra = 6,3$ až $3,2$ při vystřihování a $Ra = 12,5$ až $6,3$ při děrování. Při přesném stříhání lze docílit $Ra = 0,8$ až $0,4$.

3.4. Střížná síla

Velikost střížné síly je nutné stanovit pro volbu vhodného lisu. Kromě síly pro stříhání je nutné ještě přihlídnout k síle pro odstranění odpadu a síle pro odstranění výstřižku z nástroje. Teoretická střížná síla F_t se určí z pevnostní rovnice pro smyk:

$$F_t = l \cdot t \cdot \tau_{Ps}$$

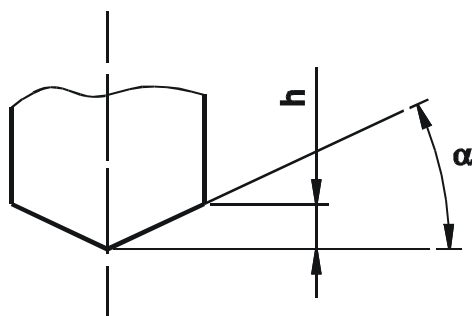
kde:

t je tloušťka materiálu [mm]

l je délka střížné hrany [mm]

τ_{Ps} je mez pevnosti ve stříhu [MPa]

Skutečná síla je větší a je ovlivněna stavem střížných hran, správností vůle, přesností ustavení nástroje na lisu, mazáním, tolerancí v tloušťce materiálu, rychlostí stříhání a dalšími vlivy. Tyto se zjišťují zkouškami a zahrnují se do výpočtu pomocí opravných součinitelů. Střížnou sílu též lze zmenšit úpravami střížného nástroje. Například oboustranné symetrické zešíkmení střížníku podle obr. 3 sníží sílu o 30 až 60%.



Obr. 3 – Zmenšení střižné síly

Skutečná střižná síla se z literatury [1] stanoví:

$$F_s = k \cdot F_t$$

kde:

$$k = 1,3 \text{ až } 1,7$$

Místo určení střižné síly z meze pevnosti ve stříhu se častěji používá střižný odpor k_s [MPa]:

$$F_s = l \cdot t \cdot k_s$$

Do výpočtu se ještě zahrnují součinitelé k_1 a k_2 , které vyjadřují otupení břitu ($k_1 = 1,1$ až $1,2$) a tření mezi střižníkem a střižnicí ($k_2 = 1,07$ až $1,14$), vše dle literatury [4]:

$$F_s = k_1 \cdot k_2 \cdot l \cdot t \cdot k_s$$

Střižný odpor je schopnost stříhaného materiálu bránit se proti svému oddělení. Závisí na mechanických vlastnostech materiálu, s rostoucí mezi pevnosti a klesající tvárností roste.

Střižný odpor z literatury [2] pro některé materiály je uveden v následující tabulce:

Druh materiálu	Označení	Střižný odpor [MPa]
Uhlíková ocel	10 340	280 až 360
	11 500	440 až 530
Uhlíková ocel s nízkým obsahem C	11 301.20	240 až 330
	11 321.20	240 až 330
Uhlíková ocel ušlechtilá	12 020	330 až 440
	12 040	390 až 520
Slitinová ocel	14 220	560

Slitina hliníku	42 4412	110 až 120
	42 4253	260 až 280
Měď	42 3001	180
Přez	---	54

3.5. Síla stírače a vyhazovače

Odpad, a při děrování i výlisek, sevrou vlivem pružné deformace střížníky, a proto se musí ze střížníků odstranit (setřít). Výlisek se nad střížnici vrací vyhazovačem, ze střížníku se odstraní stíračem. Tuto síly ovlivňují zejména vlastnosti materiálu, jeho tloušťka, tvar křivky stříhu a mazání.

V praxi se volí jak pro setření tak i pro vyhození poměrná část střížné síly.

Setření:

$$F_{st} = (0,02 \text{ až } 0,15) \cdot F_s \quad \text{pro } t < 5 \text{ mm}$$

$$F_{st} = (0,08 \text{ až } 0,2) \cdot F_s \quad \text{pro } t > 5 \text{ mm}$$

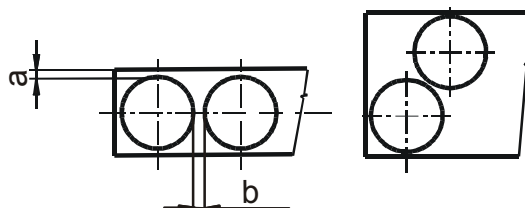
Vyhození:

$$F_v = (0,02 \text{ až } 0,05) \cdot F_s$$

Nižší hodnoty se volí pro jednodušší nástroje a pro stříhání neželezných kovů. Obě síly spolu se střížnou silou jsou podkladem pro volbu vhodného lisu.

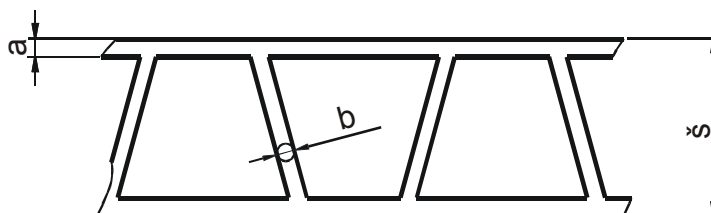
3.6. Nástřihový plán

Pro úsporu materiálu má značný význam sestavení nástřihového plánu. Malé využití materiálu mají zejména kruhové výstřižky, zde je proto vhodné volit víceřadé uspořádání. U jednořadého nástřihu činí odpad okolo 24%, u dvouřadého okolo 19%. S vyšším využitím materiálu víceřadým nástřihem vzrůstá cena a údržba nástrojů a tonáž lisu.

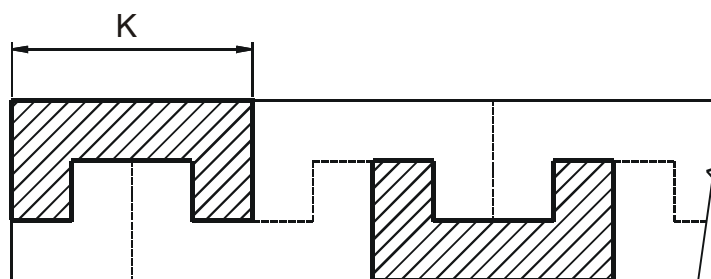


Obr. 4 – Jednořadé a dvouřadé uspořádání

Také vystřídáním výstřižků podle obr. 5 lze docílit úspor. Symetrické výstřižky lze stříhat i bez odpadu, jak je znázorněno na obr. 6.



Obr. 5 – Vystřídání výstřižků



Obr. 6 – Stříhání bez odpadu

Využití materiálu v procentech lze určit ze vztahu:

$$x = \frac{S}{K \cdot \text{š}}$$

kde:

S je plocha výstřižku [MPa]

K je krok [mm]

š je šířka pásu [mm]

Pro sestavení nástřihových plánů jsou doporučené rozměry můstků a a b , které závisí na tloušťce materiálu a šířce pásu. Například pro plech tloušťky 3 mm a šířku pásu 50 až 100 mm uvádí literatura [2] tyto hodnoty:

$$a = 3 \text{ mm}$$

$$b = 3,7 \text{ mm}$$

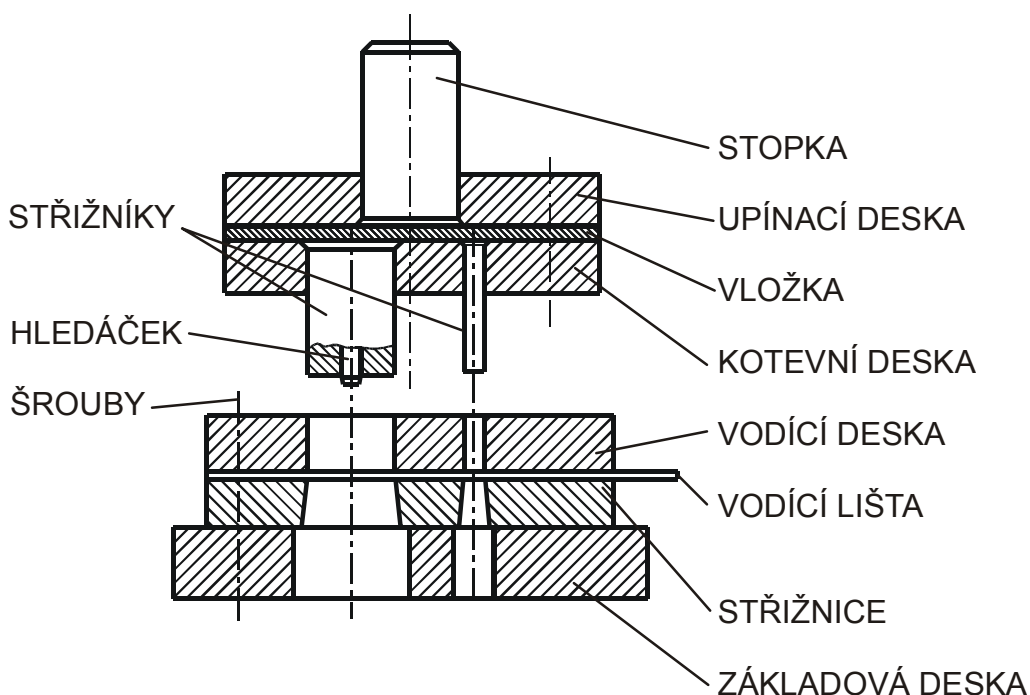
Uvedené příklady nástřihových plánů ukazují jejich řešení pro jednoduché výstřižky u jednoduchých nástrojů. U postupových nebo sdružených nástrojů, které kromě stříhání zajišťují i ohýbání, děrování, stříhání obvodu atd., musí nástřihový plán kromě úspory materiálu zajistit:

- silové vyvážení v ose nástroje
- silové vyvážení v rovině plechu
- snadný transport a jednoznačnou orientaci v rovině plechu při jednotlivých krocích

3.7. Druhy střížných nástrojů

Střížné nástroje mají pevnou dolní část a pohyblivou horní. Tvoří je několik dílů a jejich úkolem je kromě stříhání spojit střížník s beranem lisu, střížnici se stolem lisu, zajistit vedení obou částí vůči sobě, zajistit vedení materiálu a jeho posuv o rozteč výlisku, tj. o krok.

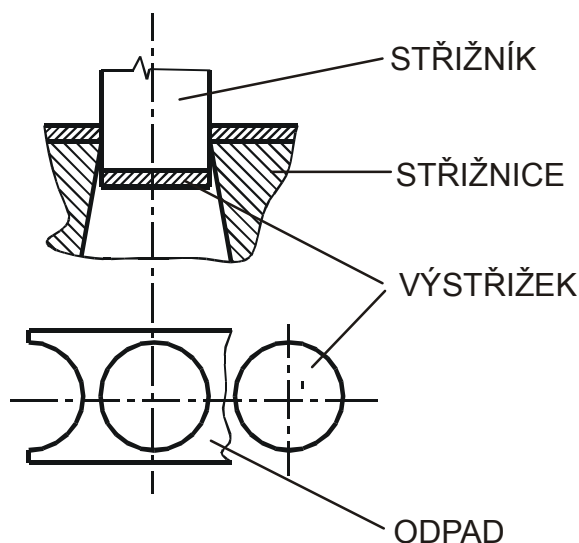
3.7.1. Základní části střížných nástrojů



Obr. 7– Části střížných nástrojů

Pokud je požadavek na přesné vedení horní pohyblivé části nástroje, mívá nástroj ještě vodící sloupky a vodící pouzdra. Sloupky jsou nalisovány v základové desce, vodící pouzdra v upínací desce.

3.7.2. Jednoduché střížné nástroje



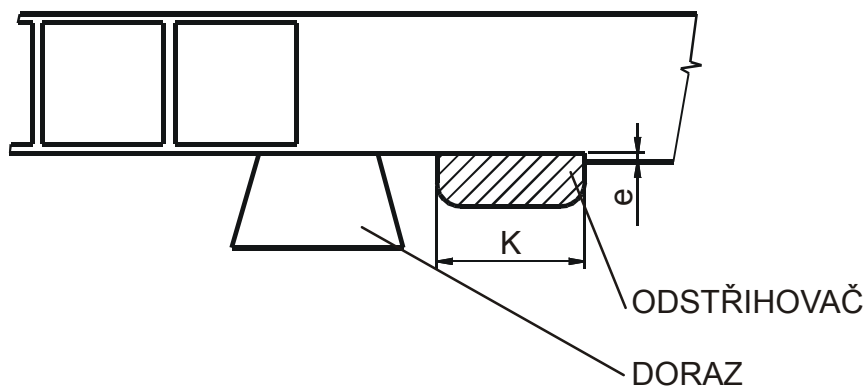
Obr. 8 – Jednoduchý střížný nástroj

Při každém zdvihu beranu lisu je zhotoven výlisek. Je-li střížník dost velký, může být upraven a upnut přímo v beranu lisu. Většinou je ale upevněn v kotevní desce a upínacím prvkem horní části nástroje v beranu lisu je stopka. Výslednice střížných sil od více střížníků má procházet osou stopky, jinak boční síly působí nepříznivě na vedení beranu lisu a na lisovací nástroj a zvyšují spotřebu hnací síly beranu. Výslednice střížných sil se určuje graficky nebo početně. Střížník vede vodící deska, která má zároveň funkci stírače odpadu. Existují nástroje i bez vedení s použitím pro děrování nebo ostříhování v malých sériích. Pás materiálu je veden vodícími lištami a jeho správný krok zajišťuje doraz.

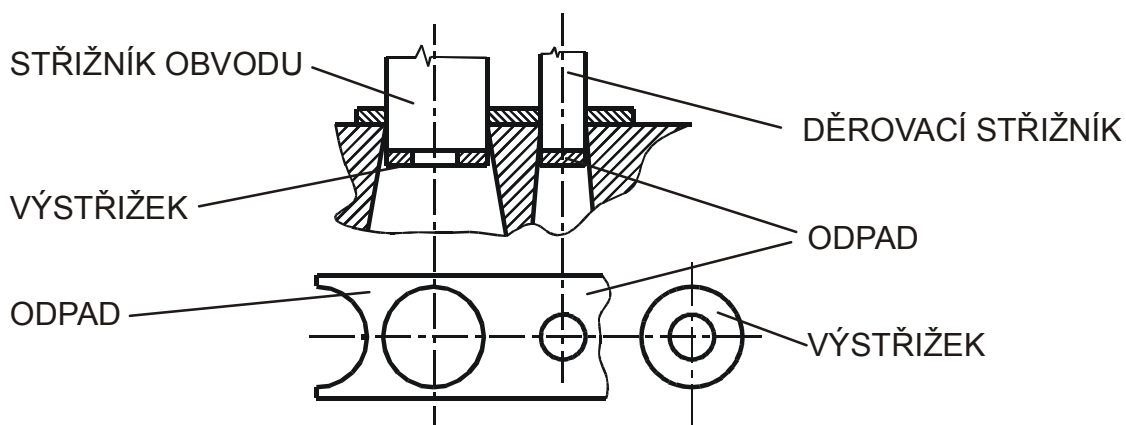
3.7.3. Postupové střížné nástroje

Mají stejné funkční součásti jako jednoduché střížné nástroje. Používají se pro složitější součásti, mají několik střížníků. Z nového pásu se první výstřížek získá po tolika zdvizích beranu lisu, kolik je kroků. Pak se již při každém zdvihu beranu získá výstřížek. K přesnému zajištění kroku a tím i zajištění polohy pásu materiálu pod střížníkem obvodu se používá buď hledáček nebo boční odstříhovač a dorazová vložka. Hledáček bývá většinou umístěn ve střížníku obvodu, před stříháním obvodu výstřížku zapadne do vystřížené díry a upraví tak přesnou polohu pásu. Boční odstříhovač je střížník, jehož funkce je pouze technologická. Jeho rozměr je dán velikostí kroku a vytváří v okraji pásu materiálu zárez s hloubkou e podle obr. 9. Odstříhovače jsou normalizovány normou ČSN 22 6060, velikost odstřížku e závisí na kroku K . Pro širší pásy a pro více operací se používají odstříhovače dva. Jeden v úrovni první operace, a druhý na protější straně pásu za poslední operací. Při podávání pásu materiálu válečkovým

nebo kleštinovým podavačem nejsou odstříhovače vhodné. Schéma postupového střížného nástroje je na obr. 10.



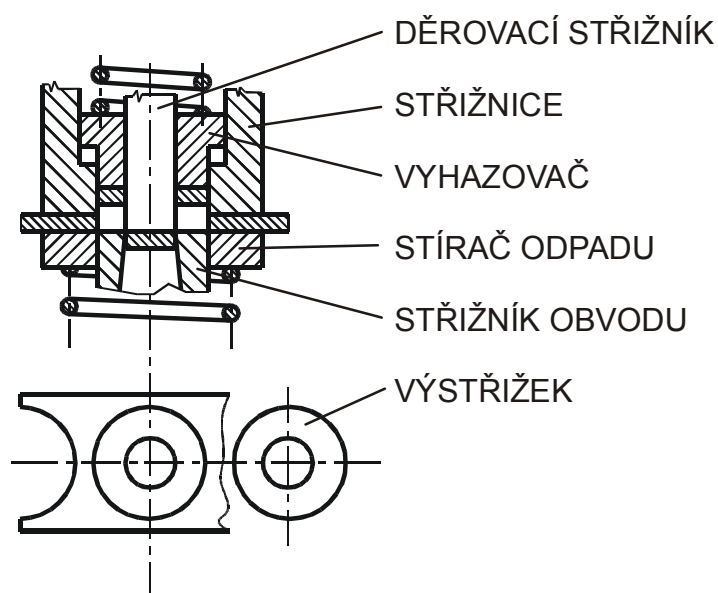
Obr. 9 – Boční odstříhovač



Obr. 10 – Postupový střížný nástroj

3.7.4. Sloučené střížné nástroje

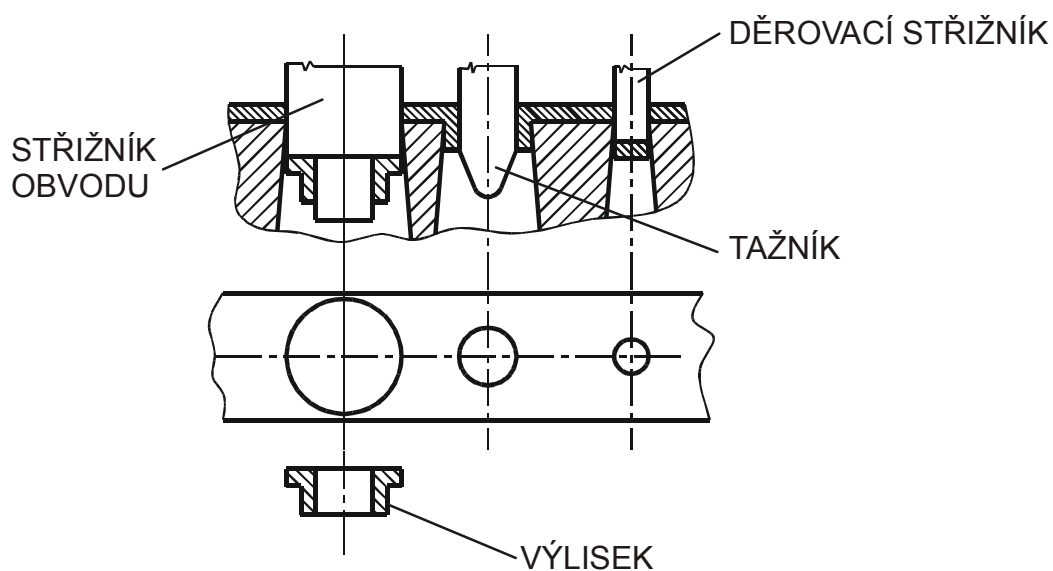
Sloučené střížné nástroje se používají pro rovné a přesnější výstřižky a zpravidla také pro výstřižky větší. Přesnost polohy děr vůči sobě i vzhledem k obvodu zajišťuje současné stříhání obvodu i všech otvorů. Nástroje mají sloupkové vedení. Schéma sloučeného střížného nástroje je na obr. 11.



Obr. 11 – Sloučený střižný nástroj

3.7.5. Sdružené střižné nástroje

Sdružené nástroje konají různorodé operace, např. stříhání spojené s následujícím tažením nebo tažení spojené s odstřížením okraje výtažku, stříhání a ohýbání apod.



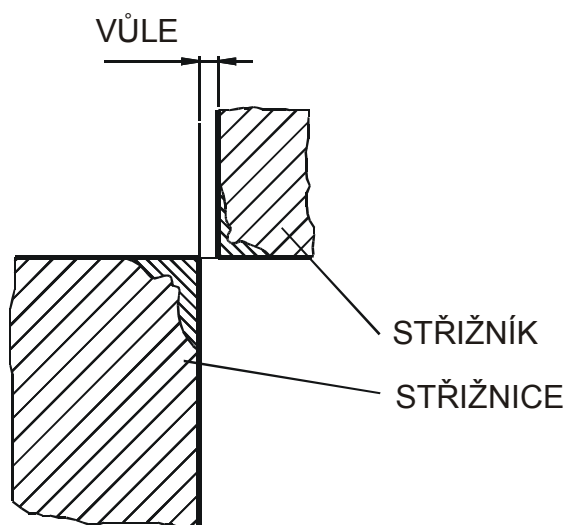
Obr. 12 – Sdružený střižný nástroj

4. Životnost tvářecích nástrojů

4.1. Všeobecné aspekty životnosti

Životnost stříhadla z hlediska provozu se posuzuje podle počtu vyrobených výstřížků v požadovaných rozměrech a kvalitě. Nástroj je již úplně opotřeben, jestliže jeho činné části nejdou naostřit ani opravit. Částečnému opotřebení lze zabránit přebroušením střížných částí. Počet možných přebroušení je omezen rozměry činných částí, rozměry výstřížku a konstrukcí nástroje. Otupená střížnice se brousí na horní ploše s úběrem asi 0,1 mm. Pokud je střížný otvor ve střížnici zkosen od střížné hrany (zkosení je velmi malé, maximálně do 1°), zvětšuje se broušením otvor ve střížnici a tím i narůstá střížná vůle. Důsledkem je zmenšená trvanlivost. Pro větší série je střížnice vhodná bez úkosů. Běžný nástroj se může přebroušovat až 25krát.

Opotřebení nástroje je způsobeno úbytkem materiálu z činných ploch střížníku a střížnice. Vysoké tlaky na hranách nástroje způsobují otěr boku činné plochy v šikmém směru nebo žlábkovité vymílání čela, jak je zobrazeno na obr. 13



Obr. 13 - Opotřebení nástroje

Opotřebení se může týkat i vodící desky střížníku. Vedení sloupky je přesnější, zvyšuje tuhost nástroje a jeho trvanlivost, je však dražší. V současné době se používá valivé vedení, které je spolu se sloupky normalizované a vyráběné komerčně.

Životnost nástroje ovlivňují zejména činitelé:

- druh a kvalita nástroje,
- druh a vlastnosti stříhaného materiálu,
- péče o nástroj,
- volba lisu.

Životnost běžně používaných nástrojů uvedených v kapitole 3.7 podle počtu vyrobených dílců se pohybuje v rozmezí 10 000 až 1 000 000 kusů.

4.2. Druh a kvalita nástroje

Na druh a kvalitu nástrojů má značný vliv jeho konstrukce. Konstrukční kancelář musí proto kromě vlastního konstrukčního řešení věnovat i pozornost technologičnosti výstřižku a seriovosti výroby. Běžná stříhadla mají obvykle velkou životnost. Pro malé série však takové nástroje nejsou nejvhodnější vzhledem k vysokým nákladům na výrobu. Zde se nabízí možnost řešit zhotovení výstřižků univerzálními vyměnitelnými a seřiditelnými nástroji, stavebnicovými děrovadly a ostřihovadly nebo jednoduchými speciálními stříhadly. Vzájemná vazba konstrukce, životnosti, využití a nákladů na výrobu nástrojů tvoří základ pro jejich technické a ekonomické posouzení.

4.2.1. Technologičnost konstrukce výstřižků

Technologičnost konstrukce výstřižků je jedním z předpokladů optimalizace nákladů na výrobu nástroje a jeho bezproblémovou funkci. Z toho vyplývají následující zásady:

- volit optimální přesnost vnějších rozměrů výstřižků, děrovaných otvorů a roztečí otvorů,
- dát přednost kruhovým otvorům před nekruhovými,
- nepředepisovat drsnost střížné plochy, docílené drsnosti a přesnost jsou uvedeny v kapitole 3.3, v případě kvalitnějších ploch pro zajištění funkce součásti musí následovat další, např. obráběcí operace,
- nepředepisovat kolmost střížné plochy,
- obtížně se dodržuje rovinnost výstřižků především z tvárných plechů. Zejména úzké kroužky, podložky se mohou ohýbat,
- nejmenší děrované otvory závisí zejména na tloušťce materiálu, pro měkkou ocel se pohybují v rozmezí $(0,35 \text{ až } 1) \cdot t$, pro tvrdé oceli $(0,5 \text{ až } 1,5) \cdot t$,
- nejmenší šířka štíhlých výstřižků nebo šířka vyčnívajících částí nemá být menší než $1,5 \cdot t$,
- nedoporučují se ostré rohy u vnitřního obrysu výstřižku, lépe je volit zaoblení minimálně s poloměrem $0,5 \cdot t$,
- sestavit optimální nástřihový plán.

4.2.2. Materiály pro střížné nástroje

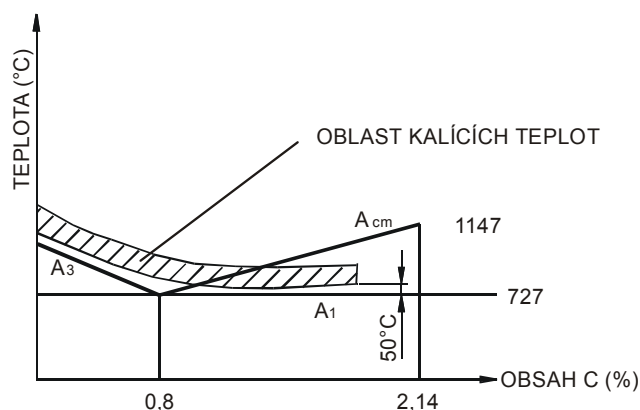
Z materiálů používaných pro konstrukci nástrojů jsou nejdůležitější nástrojové oceli. Mají velké množství druhů, z hlediska složení jsou označovány jako uhlíkové a slitinové. Uhlíkové obsahují nejčastěji od 0,7 %C do 1,45 % C a nemají další přísady. Mají malou prokalitelnost, kalí se převážně do vody. Jsou levné a dobře obrobitelné, mají menší odolnost proti opotřebení. Slitinové oceli obsahují kromě uhlíku mangan, křemík, vanad, chrom, molybden, nikl, wolfram. Mají lepší prokalitelnost, kalí se převážně do oleje. Nizkolegované oceli s přísadami Mn - V (19 312) mají malé deformace při tepelném zpracování. Používají se pro menší výstřižky a malé série (do 10 000 kusů). Vysokolegované oceli zejména s přísadami Cr (19 436, 19 573) mají velkou prokalitelnost a vysokou odolnost proti otěru. Kalí se na vzduchu nebo do oleje s malými deformacemi, používají se pro nástroje velkých rozměrů, složitých tvarů a pro velké série výrobků (až 1 milion kusů). Kromě nástrojových ocelí se používají pro méně namáhané části nástrojů i konstrukční oceli tříd 11 a 12 a litiny. Přehled nejčastěji používaných materiálů pro střížné nástroje je v následující tabulce.

Části nástrojů	Materiál	Tepelné zpracování
Střížník	19 312, 19 436, 19 573	kalit na 60 – 62 HRC, popustit
Střížnice	19 312, 19 436, 19 573	kalit na 60 – 62 HRC, popustit
Kotevní deska	11 500, 11 523, 19 132	19 132 kalit na 38 – 40 HRC, popustit
Vodící deska	11 523, 19 312	19 132 kalit na 38 – 40 HRC
Základová deska	11 500, 11 523, 42 2425	
Upínací deska	11 500, 11 523	
Vložka	11 700, 12 050, 19 083	
Hlavičky	11 523, 11 600	
Stopka	11 600	
Vodící lišta	11 600, 19 312	19 312 kalit na 38 – 40 HRC, popustit
Dorazy	12 010, 12 060	12 010 cementovat, kalit 12 060 kalit, popustit
Hledáčky	19 312	kalit na 60 – 62 HRC, popustit

Nástrojové oceli mají velké množství druhů, např. slitinových je normalizováno 50 druhů. Proto nástrojárny používají omezené množství druhů, které jsou pak podnikovým normativem.

4.2.3. Tepelné zpracování materiálů pro střížné nástroje

Kalení částí nástrojů, zejména střížníků a střížnic, má podstatný vliv na životnost nástroje. Účelem kalení je zvýšit tvrdost materiálu. Je to ohřev součásti o $30 - 50^{\circ}\text{C}$ nad A_3 (popřípadně A_1) podle obr. 14, výdrž na této teplotě a ochlazení kritickou rychlostí, čímž se potlačí vznik feritu a perlitu a zachovaný nestabilní austenit při teplotách pod 500°C se přemění na bainit nebo martenzit. Kalicí teplota musí tedy ležet nad překrystalizačními teplotami, aby struktura před kalením byla homogením austenitem nebo směsí austenitu a cementitu. Příliš vysoká kalicí teplota či dlouhá výdrž na teplotě mohou mít za následek zhrubnutí austeniteckého zrna.



Obr. 14 – Oblast kalících teplot

Důležitou vlastností materiálů je jejich prokalitelnost. Je to schopnost získat požadovanou tvrdost do určité hloubky pod povrchem. Dobrou prokalitelnost má většina slitinových nástrojových ocelí. Kalicím prostředím může být vzduch pro hluboce prokalitelné oceli, např. rychlořezné oceli, voda pro uhlíkové nástrojové oceli a olej pro slitinové nástrojové oceli. Při kalení vzduchem se vzduch obvykle dmýchá pod tlakem 10^4 Pa na kalenou součást pokud možno ze všech stran. Voda je nejstarším a velmi účinným prostředím. Rychlost ochlazování zejména v oblasti martenzitické přeměny je velká, což má za důsledek vznik značného vnitřního pnutí. Oleje jsou mnohem mírnější kalicí prostředí, v oblasti martenzitické přeměny bývá rychlost ochlazování oproti vodě asi 10krát menší. Proto je vnitřní pnutí při kalení do oleje oproti vodě malé. Používají se minerální oleje s malou viskozitou, která se ještě zvýší ohřátím zpravidla na 50°C .

Po kalení se u nástrojových ocelí používá popouštění. Cílem je snížit zbytkové pnutí po kalení a odstranit křehký tetragonální martenzit bez snížení tvrdosti, čímž se zmírní křehkost a odstraní citlivost nástrojů na nárazy při práci. Pro nástrojové oceli se používá popouštěcí teplota do 350°C , při požadavku vysoké houževnatosti mohou teploty dosáhnout až 400°C . Při popouštění se postupně mění tetragonální martenzit na kubický, při teplotě 180 až 300°C se rozpadá zbytkový austenit na ferit a cementit. Přitom vyloučený cementit má tvar kuliček a zůstává ještě částečně zachována jehlicovitá struktura. Při teplotě nad 400°C až do A_1 vzniká jemná struktura s názvem sorbit, charakteristická kuličkovým cementitem v základní feritické hmotě.

4.2.4. Kvalita výroby nástrojů

Strojní vybavení nástrojárny má zásadní vliv na kvalitu nástrojů a tím i na jejich životnost. Kvalitativní obrat výroby nastal nasazením moderních strojů, zejména pak drátových řezaček, elektroerozivních hloubících strojů, CNC frézek a obráběcích center. Tyto výrobní technologie jsou navíc podporovány CAD/CAM systémy. Zásadní přelom v kvalitě výroby nastal zavedením drátových řezaček do výroby. Jejich principem je řízené vytrhávání zrn z materiálu pomocí elektrických výbojů. Ve spojení s numericky řízeným pohybem nástroje lze vyříznout složité tvary např. ve střížnicích a to i v kaleném materiálu. Nástrojem je mosazný drát v tloušťkách 0,05 až 0,3 mm. Zařízení je schopno řezat elektricky vodivé materiály až do tloušťky 200 mm a to nejen kolmé řezy, ale i řez pod úhlem až do 45° . Přesnost výrobku se pohybuje v tolerancích 0,005 mm. V porovnání s povrchy dosahovanými běžným obráběním – frézováním, kdy je jakost vyjádřena hodnotou $Ra = 1,6$ až 3,2 lze dosáhnout drátovými řezačkami drsnosti řádově nižší a to až $Ra = 0,2$. Veškerá příprava pro výrobu probíhá pomocí software, v němž je naprogramovaná dráha nástroje a na základě požadavků na přesnost a jakost povrchu stanoveny základní parametry řezání, proud a rychlost. V současné době klesá význam elektroerozivních hloubících strojů, neboť výroba na nich je poměrně nákladná. Jejich práci přebírají CNC obráběcí centra, která umožňují díky svým parametrům (až 15 000 ot/min vřetene) obrábět vnitřní povrchy s poloměrem zaoblení 1 mm.



Obr. 15 - Střížnice

Na obr. 15 je střížnice vyrobená na drátové řezačce ve firmě KARSIT s.r.o Jaroměř. Firma má celkem pět výrobních závodů a je zaměřena na výrobu plechových dílců pro automobilní průmysl. Jedním ze závodů je Nástrojárna Postřelmov.

Nástrojárna Postřelmov má celkem 40 zaměstnanců, z toho jsou 4 konstruktéři a 28 vysoce kvalifikovaných výrobních dělníků. Vyrábí zejména postupové a sdužené nástroje na tváření plechu s hmotností do 3,5 t a rozměrů základové desky 2 000 x 1 000 mm, dále pak vstřikovací formy na plasty, slitiny Al a Zn a kovové formy na gravitační lití Al. Konstrukce pracuje s CAD systémy Solid Edge a AutoCAD a s CAD/CAM systémem Unigraphics. Na obr. 16 je ukázka výstřížků z nástrojů, vyrobených v Nástrojárně Postřelmov.



Obr. 16 – Součásti ze střížných nástrojů

Výrobní technologie Nástrojárny Postřelmov má kromě standardních obráběcích strojů následující zařízení:

- CNC frézka FGSQ 320 s řídicím systémem Heidenhain
- CNC obráběcí centrum HARTFORD MVP 13AD
- Elektroerozivní hloubicí stroj MAKINO EC NC 64
- Drátová řezačka MAKINO U53K
- Drátová řezačka FANUC ROBOCUT Sloha 1iC
- Třísouřadnicový měřicí stroj ZETT MESS s 3D programem FUTUREX

Ze všech uvedených faktů vyplývá, že kvalitní výroba nástrojů s vysokou životností vyžaduje vysoce kvalifikované technické i výrobní pracovníky a odpovídající nákladné výrobní zařízení.

4.3. Druh a vlastnosti stříhaného materiálu

Stříháním se dají zpracovávat téměř všechny materiály. Nejvhodnější jsou polotvrdé materiály s malou tažností. Výstřižky z nich se málo deformují a mají nejkvalitnější střížnou plochu. Konkrétně lze stříháním zpracovat:

- uhlíkové a slitinové oceli, i tepelně zpracované plechy s vysokou mezí pevností,
- měď a slitiny mědi,
- hliník, hořčík a jejich slitiny,
- zinek a pozinkované plechy,
- nikl, titan a jejich slitiny,
- molybden, tantal, speciální slitiny a drahé kovy,
- plasty, papír, pryž.

Jako polotovary se používají buď přístřižek z tabule plechu nebo svitky. Svitky jsou výhodné zejména při velkosériové výrobě, kdy je podávání materiálu řešeno pomocí mechanických podavačů a rovnačů svitku.

Pro prosté stříhání nemá druh materiálu zásadní vliv na životnost nástroje. Vliv materiálu se ale projevuje u sdružených nástrojů, kde kromě stříhání probíhá i např. tažení či ohýbání. Konkrétně se může projevit např. zadíráním zinku při tažení součástí z pozinkovaného plechu. V praxi se tyto problémy řeší zejména povlakováním nástrojů s několikanásobným zvýšením životnosti.

4.4. Péče o nástroj

K péči o nástroj patří zejména jeho čištění, mazání, ostření a opravy. Při práci nástroje je nutné podávat pouze čisté pásy nebo polotovary, dbát na to, aby do pracovního prostoru nástroje nevnikl cizí předmět nebo v něm nezůstaly dva výstřižky. Je nutno kontrolovat a sledovat odchod výstřižků a odpadů z nástroje. Mazací místa v nástroji představují střižníky ve vodící desce, stříhaný materiál a ostatní vodící elementy. Otupení střižných dílů se nedá zabránit. Pokud již nelze nástroje znova ostřit, používá se navařování střižných hran. Navařování se provádí při ohřevu nástroje na 600 °C s následným žháním. Z oprav se nejčastěji realizuje výměna ulámaných střižníků zejména malých průměrů, výměna prasklých střižnic, opravy opotřeбенého vedení nástrojů, výměna opotřebovaných dorazů.

4.5. Volba lisu

Dřív než konstruktér nástrojů začne konstruovat, musí znát lis a požadavky na něj, zejména pak:

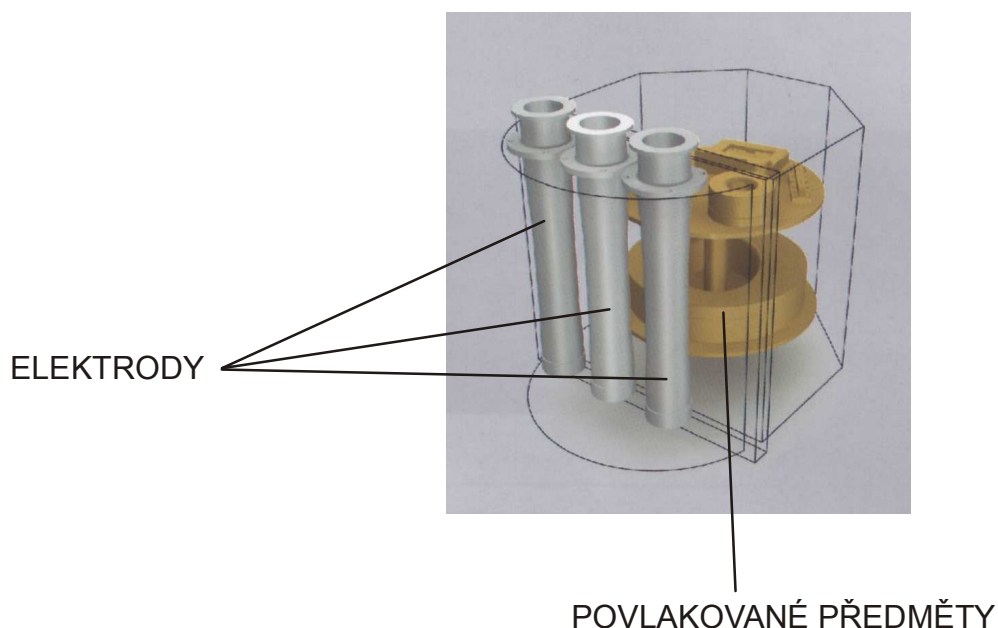
- potřebnou sílu pro vystřížení,
- zdvih beranu,
- sevření lisu – musí být stejné, nebo větší než výška uzavřeného nástroje,
- upínací rozměry stolu a beranu lisu,
- otvor ve stole – musí umožnit volný propad výstřižků,
- počet zdvihů lisu,
- možnost zajištění bezpečnosti práce.

Na životnost nástroje má z hlediska lisu největší vliv tuhost jeho stojanu. Z tohoto důvodu jsou nejvhodnější uzavřené lisy, méně vhodné výstředníkové s otevřeným stojanem tvaru *C*. Pružné horizontální i vertikální deformace se mohou u otevřeného stojanu pohybovat v řádu desetin milimetrů až milimetrů. To je nebezpečné zejména pro přesné střižné nástroje s malou střižnou vůlí, u nichž se mohou za jistých okolností hrany střižníku a střižnice dotýkat a jedna druhou poškodit. Také vedení horní části nástroje zejména pomocí vodící desky mohou deformace předčasně opotřebit.

5. Moderní metody zvyšování životnosti

5.1. Povlakování nástrojů

Moderní povlakovací metody se staly neodmyslitelnou součástí průmyslové praxe. Pro některé materiály a operace je použití tvrdých a otěruvzdorných povlaků nezbytností, pro ostatní jsou klíčem k větší efektivnosti a produktivitě. Povlakováním tvářecích nástrojů se jejich životnost zvyšuje 3 x až 10 x oproti nepovlakovaným nástrojům a díky nižšímu řeznému odporu se také uspoří elektrická energie. Principem povlakování podle obr. 17 je nanášení vrstev na bázi prvků Cr, Al, Ti a dalších z otáčejících se elektrod na povlakované předměty, uložené v otočném stojánku. Běžná tloušťka vrstvy je do $20\mu m$, u tlustých vrstev až do $50\mu m$. Metody povlakování PVD, CVD, PA CVD a další jsou stále předmětem vývoje mnoha pracovišť ve světě i v České republice. Ke špičkovým vývojovým a výrobním pracovištím patří i firma SHM, s.r.o. Šumperk.



Obr.17 – Princip povlakování

5.1.1. Metoda PVD

Metoda PVD (Physical Vapour Deposition) je založena na odpaření nebo odprašení pevné látky v řízené atmosféře. Povlaky vznikají při tlaku 0,1 až 1 Pa ve vakuové komoře, do níž je pouštěn pracovní plyn, např. argon nebo dusík. Podle způsobů získávání kovových iontů rozlišujeme metodu odpaření nízkonapěťovým obloukovým výbojem (obloukové odpařování) nebo metodu odprašení (magnetronové odprašení).

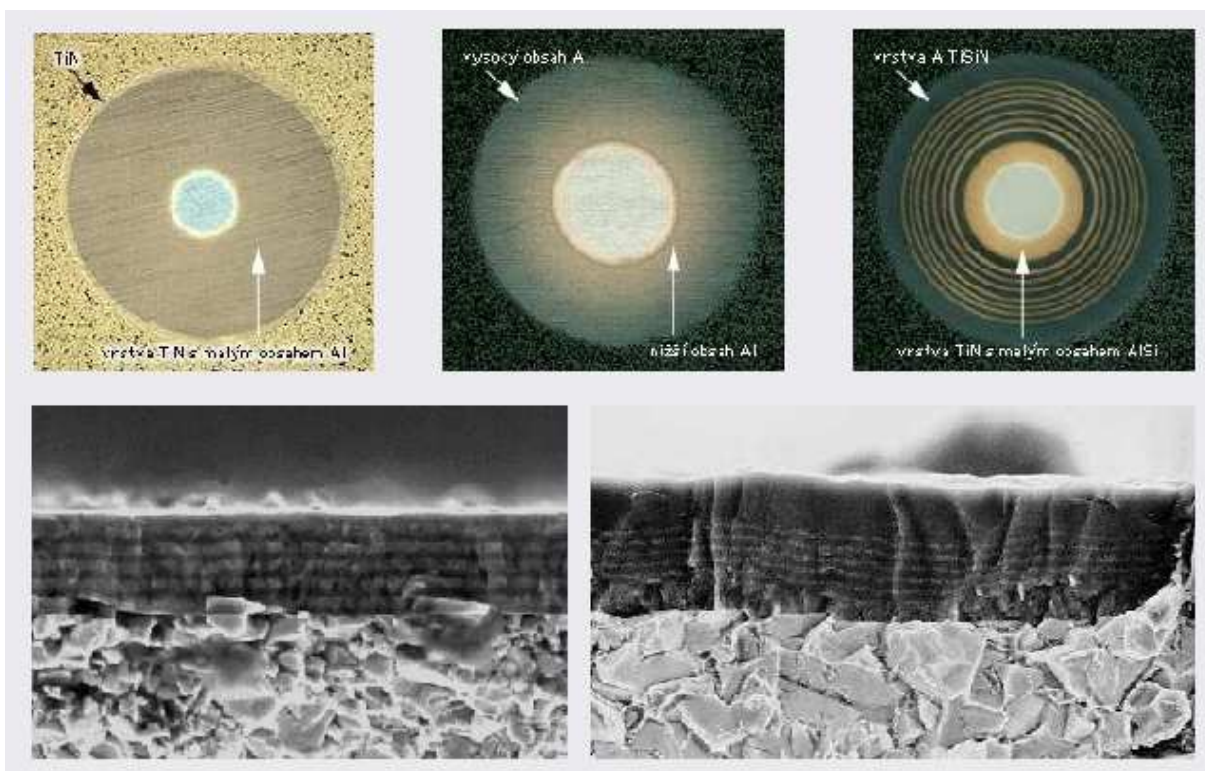
Ve fázi přípravy je třeba provést dokonalé očištění a odmaštění povrchu nástrojů. Používají se alkalické lázně, ultrazvukové lázně a vodné oplachy s následným sušením proudem teplého vzduchu nebo nahříváním v sušičkách. Druhá část přípravy povrchu probíhá již ve vakuové komoře, kde se nejprve odčerpávají povrchově vázané plyny a následně se proudem iontů plynu nebo kovu odstraní několik nanometrů povrchové vrstvy povlakovaných nástrojů. Zároveň se nástroje ohřívají na teplotu podle vlastností materiálů od 30 do 500 °C. Při obloukovém odpařování se na katodě obloukovým výbojem odpařuje její materiál ve formě kladných iontů, které jsou záporným předpětím na planetovém stolku s nástroji přitahovány na povrch nástrojů. V této fázi mají ionty kvazikapalný charakter a po povrchu nástrojů se pohybují, spojují a postupně vytváří vrstvu nebo více vrstev po celém povrchu nástroje. Princip magnetronového odprašování je složitější v tom, že je nejprve potřeba ionizovat pomocný inertní plyn, např. argon, a pomocí urychlení těchto iontů bombardovat katodový terč a tak odprašit požadované částice.

Závěr povlakovacího procesu spočívá ve zchlazení nástrojů pod teplotu oxidace oceli, tedy pod 200 °C a vyjmutí z komory.

K základní vlastnostem vrstvy patří:

- Otěruvzdornost,
- tepelná vodivost – povlaky odolávají teplotám až 800 °C,
- korozivzdornost,
- snížení třecího odporu,
- tvrdost povrchu.

Jakými materiály se povlakuje? Základní a nejdéle používaná vrstva je z TiN (nitrid titanu), povrch má zlatou barvu a je použitelný téměř ve všech aplikacích. Z dalších se používá TiAlN (titan aluminium nitrid) s povrchem růžovofialovým až černošedým. Má výbornou odolnost vůči vysokým teplotám. Nejtvrdší povrchy dávají povlaky na bázi uhlíku, mají černou barvu a používají se převážně na povlakování součástek např. v automobilním průmyslu. Z méně používaných pro speciální použití (medicína, dekorativní povlaky) je např. TiCN (titan carbonitrid) a ZrN (zirkon nitrid). Názorné zobrazení vrstev a zvětšený povrch vrstev je na obr. 18.



Obr. 18 – Architektura vrstev

Vývojové trendy PVD povlaků mají čtyři hlavní směry vývoje:

- kombinace vrstev – již používaná aplikace tzv. multivrstev, kdy se střídají alespoň dva druhy vrstev. Jejich tloušťka nepřesahuje zpravidla $4\ \mu\text{m}$ ale vlastnosti se mění ve prospěch vyšší tvrdosti a houževnatosti,
- tlusté vrstvy – s tloušťkou nad $20\ \mu\text{m}$ a typickou okolo $50\ \mu\text{m}$ s použitím zejména v oblasti tvářecích nástrojů, včetně jejich renovace,
- zjemňování struktury vrstev,
- zdokonalování vlastností hledáním dalších povlakových materiálů bez přítomnosti titanu, např. vrstvy CrAlN (chrom aluminium nitrid), CrAlSiN (chrom aluminium křemík nitrid).

5.1.2. Metoda CVD

Metoda CVD (chemical vapour deposition) používá k převedení povlakovacího materiálu do plynné fáze odpařování za vysokých teplot 1000 až $1200\ ^\circ\text{C}$. Tloušťka povlaků dosahuje v závislosti na použití nástroje 2 až $20\ \mu\text{m}$, tvrdost až $68\ \text{HRC}$. Pracovním plynem je metan a dusík. Tyto povlaky jsou určeny zejména pro nástroje pro tvárni za studena, jako jsou střížné, protlačovací, lisovací nástroje a další. Jako povlakový materiál se používá titan.

5.1.3. Metoda PA CVD

Metoda PA CVD nebo též někdy označovaná jako PCVD se od klasické CVD metody liší nízkými pracovními teplotami v rozmezí 400 až 600 °C, přičemž nemění její princip, tj. vytváření povlaku z plynné fáze. Molekuly plynu jsou ionizovány plazmovým výbojem. Ten je v komoře reaktoru při tlaku 100 až 300 MPa vyvolán pomocí vnějšího elektrického napájecího zdroje, kdy vysoké stejnosměrné napětí je přiváděno na katodu ve formě pečlivě řízeného sledu pulzů. Jako povlakový materiál se používá titan.

Obě metody CVD a PA CVD mají uplatnění zejména v sériové a hromadné výrobě, např. v automobilovém průmyslu, kdy výrobní ztráty způsobené výměnou nástrojů a následným seřazením strojů jsou limitujícím parametrem. Předpokládané zvýšení životnosti je 5 až 15 násobné ve srovnání s nepovlakovaným stavem.

Vývoj uvedených metod není ukončen, směřuje ke vzniku multivrstev v rozsahu až 200 extrémně tenkých vrstev a k povlakům z polykrystalického diamantu.

5.2. Vývojová a výrobní firma SHM, s.r.o. Šumperk

Firma SHM, s.r.o. patří v rámci České republiky ke špičkovým výrobním a vývojovým pracovištím. Kromě povlakování nových a použitých nástrojů nabízí také technickou poradenskou službu při zavádění této metody a testování nástrojů s povlaky. Garantem trvalého pokroku ve vývoji je výzkumný tým, který prošel několika národními a mezinárodními projekty a který má velkou mezinárodní prestiž. Udržuje trvalé vazby na české a zahraniční výzkumné instituce a vysoké školy. Ve firmě pracuje 100 zaměstnanců.

Ke komerčnímu povlakování nabízí firma 5 druhů klasických a 2 druhy nově vyvinutých povlaků PVD na nástroje z oceli i tvrdokovu s konkrétním použitím na různé druhy nástrojů. Z klasických se pro stříhání a lisování hodí povlak s obchodním názvem MARWIN SI tvořený prvky TiAlSiN a MARWIN TiCN s prvky TiCN a TiC. Nové povlaky s obchodními názvy LUBRIK (LUBRIK SI a LUBRIK G) a ALWIN se nanášejí jako závěrečná vrstva na klasické povlaky MARWIN. Kromě běžných prvků Cr, Ti, a Si obsahují v povrchové vrstvě ještě oxidy uhlíku. Obsah uhlíku je optimalizován pro kluzné aplikace, kdy snižuje tření a střižné síly, omezuje tvorbu nárůstků a umožňuje rovnoměrnější záběh nástroje. Jejich použití je tedy kromě obráběcích nástrojů zejména pro tvářecí operace, stříhání a lisování. Nově vyvinuté povlaky představují světovou špičku jak z hlediska uplatnění nových poznatků výzkumu a vývoje, tak i z hlediska uplatnění praktických zkušeností.

Firma SHM, s.r.o. vytvořila spolu se švýcarskou firmou PLATIT AG společnost PLATIT PIVOT a.s. se sídlem v Šumperku, která se zabývá výrobou a servisem strojů pro povlakování. Stroje jsou vyráběny ve třech velikostních řadách a jsou exportovány do celého světa. Na obr. 19 je zařízení PLATIT π^{300} patřící do střední velikosti. Rozměry zařízení šířka x hloubka x výška jsou 2350 x 1660 x 2300 mm, rotační karusel ve vakuové komoře má průměr 485 mm a výšku 440 mm, příkon 45 kW, používaný plyn je argon.



Obr. 19 - Pokovovací zařízení PLATIT π^{300}

6. Konstrukce střížného nástroje

6.1. Postup při konstrukci střížného nástroje

Podkladem pro konstrukci je výkres součásti s požadavky na druh materiálu, jakost povrchu, přesnost rozměrů a případné další tepelné zpracováními povrchové úpravy. Na základě těchto údajů se spolu s nástřihovým plánem volí optimální typ nástroje. Dále pak následují pevnostní výpočty zejména střížníků a případně i střížnice a grafické řešení umístění stopky nástroje. Po vytvoření sestavy následuje zhotovení dílenských výkresů jednotlivých částí. Ke zpracování výkresové dokumentace se v současné době používají CAD nebo CAD/CAM systémy. Klasické kreslení na pauzovací papír s následným kopírováním výkresu většina konstrukcí již nepoužívá.

Vzhledem k tvarové i funkční podobě většiny střížných tvářecích nástrojů vznikla v minulosti řada norem ČSN jednotlivých částí nástrojů. Jsou seskupeny v třídě norem 22. Některé z nich se transformovaly na normy ČSN ISO, jako příklady lze uvést:

- ČSN 22 6273 (1969) – Střížné skříně,
- ČSN 22 6307 (1990) – Vodicí lišty,
- ČSN ISO 9182 (1999), dříve ČSN 22 6260 – Vodicí sloupky,
- ČSN ISO 1145 (1999), dříve ČSN 22 6201 – Vodicí stojánky,
- ČSN ISO 10242-1 (2000), dříve ČSN 22 6264 – Stopky.

Konstrukční kanceláře normy při své práci používají s přihlédnutím k několika skutečnostem. Normalizované součásti nástrojů v ČR téměř nikdo komerčně nevyrábí, otázku je využívání vlastních výrobních kapacit nástrojáren a cenových relací nakupovaných součástí. V rámci Evropské unie však existuje řada výrobců, zejména v NSR a v Itálii, u kterých lze tyto součásti získat. Jako příklad lze uvést firmy z Německa FIBRO GmbH nebo STEINEL NORMALI-EN GmbH.

6.2. CAD a CAD/CAM systémy

Masové nasazení výpočetní techniky do technické praxe znamenalo zásadní převrat v práci konstruktéra. Kromě nahrazení jeho rutinní práce při tvorbě výkresové dokumentace získává konstruktér především možnost vytvoření prostorové geometrie objektů a dalších technologických parametrů. Na takto definovaných modelech je možné provést nejen řadu úprav, ale také odvodit jeho základní výrobní parametry. Vzniká tak těsná návaznost na výrobní proces, konkrétně lze vytvořenou geometrii použít např. pro programování obráběcích strojů. Samostatnou kapitolou je spojení vytvořených objektů do rozsáhlých sestav a počítačových simulací. Počítačové programy pro konstruování jsou označovány zkratkou CAD (Computer Aided

Design) - Počítačová podpora konstruování. Programy pro podporu výroby jsou označovány zkratkou CAM (Computer Aided Manufacturing) – Počítačová podpora výroby.

6.2.1. Vývoj CAD a CAM

Vývoj počítačové grafiky má dlouhou historii, trvající přes 50 let. Je spojen s vynálezem světelného pera v roce 1950. Namalovaný obraz zůstával zachycený na stínítku obrazovky, která sloužila zároveň jako paměť. O 12 let později v roce 1962 dokončil mladý student Ivan Sutherland program demonstrující základní principy počítačového technického kreslení. Je označován za začátek historie CAD. Program byl uložen na papírové děrné pásce, ze které se načítal do počítače. Počítač měl 7“ obrazovku, 320 kB RAM a 8 MB paměti na magnetové pásce. Komerčnímu využití bránily nedokonalé, sálové počítače. Prudký rozvoj CAD systémů nastal okolo roku 1980 s příchodem nové generace procesorů x86 od firmy Intel s použitím do tzv. pracovních stanic. Plošné komerční využití nastolil pak vývoj osobních počítačů. Zprvu se CAD systémy uplatňovaly v plošném 2D kreslení, až v roce 1988 se na trhu objevuje produkt Pro/Engineer od firmy PTC s koncepcí parametrického 3D modelování. Záhy tuto koncepci přebírají další produkty, jako Solid Edge, SolidWorks a další. Od roku 1992 se postupně mění dominantní platforma založená na systému UNIX a CAD programy začínají pracovat na operačním systému Windows. V současné době se ve světě provozuje okolo 100 různých CAD systémů zaměřených na řadu oborů lidské činnosti. K nim ještě patří několik tisíc nadstaveb a aplikací, které jejich možnosti ještě rozšiřují. Další využití CAD systémů spočívá v jejich zapojení do internetu.

Za počátky CAM systémů lze označit rok 1961, kdy firma Boeing zavádí do výroby první NC stroj. Děrné pásy nebo štítky pro archivaci dat se používaly téměř až do nedávné doby. Důvodem byla špatná spolehlivost disket či harddisků fyzicky přítomných ve strojích vzhledem k pracovním podmínkám obroben (např. kovový prach, magnetické pole). Dnes jsou data od strojů oddělena, neboť jsou uložena v podnikové počítačové síti.

6.2.2. Rozdělení CAD systémů

CAD systémy lze zařadit do několika kategorií, přičemž hlediska pro rozdělení mohou být různá. Jedním z možných hledisek je rozdělení podle profesního použití na specializované jednoúčelové systémy, zaměřené např. na stavebnictví, elektrotechniku, strojírenství a další i úzce zaměřené aplikace, a na obecné systémy s nadstavbami pro různé profese.

Častější dělení je podle rozsahu použití, typu prostoru který je využíván a stupně vývoje na:

- I. generace, malý CAD – program, který nejde za hranici dvou rozměrů. Tyto programy lze používat pro náročné 2D konstrukční práce. Umožňují kreslit výrobní výkresy součástí a z nich sestavit sestavu mechanismu či stroje, prostorové modely řeší pomocí drátěných konstrukcí. Mohou mít i nadstavby. Za jejich představitele lze uvést od zahraničních vý-

robců např. AutoCAD LT, BricsCAD, DesignCAD 2D, z českých původních systémů např. OtherCAD a VariCAD.

- II. generace, střední CAD – kromě práce v 2D jako u systémů I. generace mohou vytvářet plošné i prostorové modely včetně jejich vizualizace. Vyznačují se otevřenou architekturou, tj. možností programování aplikací a spolupráce s jinými programy. Do této skupiny lze zařadit např. AutoCAD, CADKEY, DesignCAD 3D. Mívají řadu nadstaveb a aplikací, včetně aplikací zaměřených na výpočty a analýzu. Nejrozšířenější v ČR je AutoCAD s 80% podílu na trhu a s 4000 aplikacemi.
- III. generace, velký CAD – 3D parametrická konstrukce a návaznost na CAM a CAE systémy. Základní změna filozofie konstrukční práce u těchto systémů je ve vytvoření parametrického modelu a teprve potom jsou z něho generovány výkresy. Za parametrický model považujeme takový, který je popsán pomocí parametrů. Rozměry a další charakteristiky nejsou určeny konkrétními hodnotami, ale pomocí proměnných, výrazů a rovnic, které vzájemně spolu souvisí. Po dosazení několika základních konkrétních hodnot dojde k výpočtu skutečných rozměrů produktu. Mezi nejpoužívanější produkty této generace patří např. Pro/Engineer, Unigraphics, Catia, SolidWorks. Většina těchto produktů lze označit jako integrované CAD/CAM systémy.

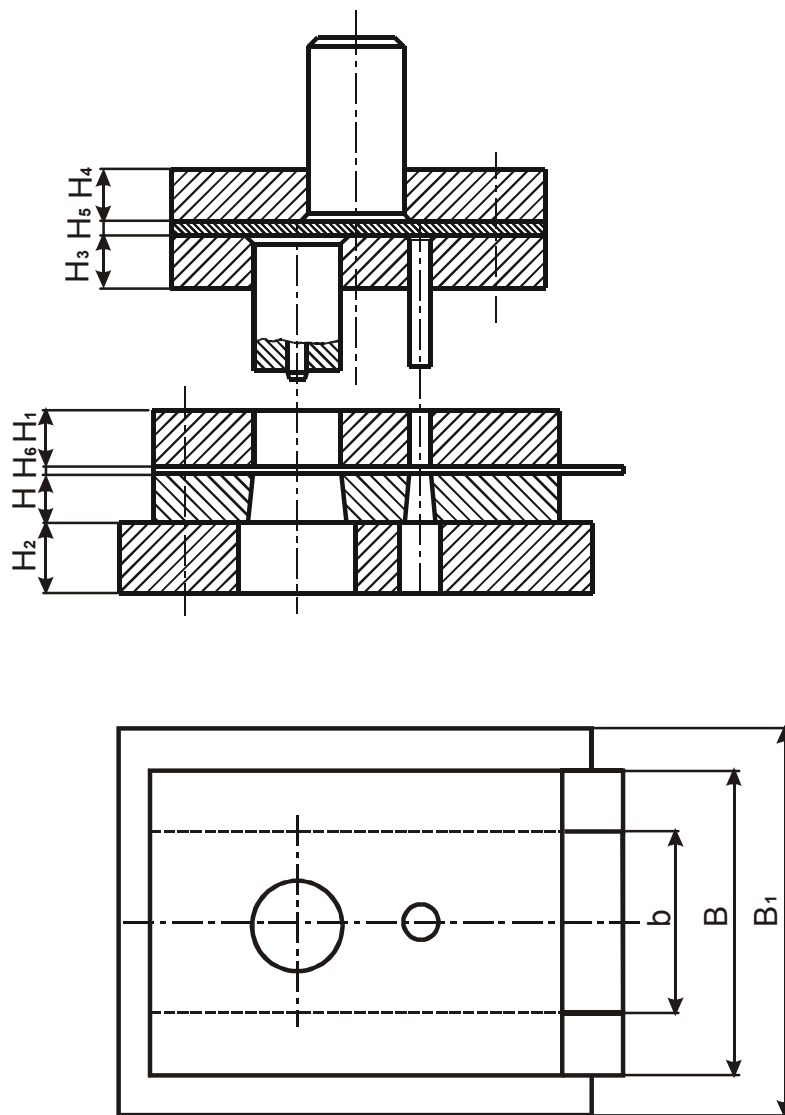
Nejpoužívanější CAD systémy III. generace se mezi sebou navzájem příliš neliší. Všechny mají, až na výjimky, podobné funkce a velmi podobný způsob práce. Prvním krokem je téměř vždy vytvoření skici a zadání potřebných parametrů určujících vazbu a rozměry. Ze skici se poté vytvoří objekt (těleso nebo plocha) jednou z mnoha funkcí (vytažení, rotace, tažení po křivce atd.). Následovat mohou operace s tělesy, jako jsou např. průniky, sjednocení, srážení a zaoblování hran a další.

Oblast, ve které se jednotlivé systémy od sebe nejvíce liší, jsou moduly dodávané k produktu výrobcem a to jak přímo integrované do systému nebo dodávané zvlášť. Tyto moduly obsahují speciální funkce typické pouze pro určité konstrukční práce (plechové díly, tlakové lití, armatury, kabely aj.) nebo usnadňují činnost konstruktéra (výpočty, simulace, napěťové deformace, kinematika mechanismů, teplotní pole a proudění). Některé systémy také umožňují vytvořit CNC program a simulovat výrobní proces.

Uvedená podpora konstrukčních prací se označuje zkratkou CAE (počítačová podpora inženýrských prací). Její rozšíření lze pozorovat teprve v nedávné době, neboť je podmíněno náročností na výkon hardwaru.

6.3. Směrnice pro konstrukci

Pro volbu rozměrů některých částí nástroje podle obr. 20 jsou v literatuře [1] uváděny empirické vzorce.



Obr. 20 - Rozměry částí nástroje

6.3.1. Střižnice

Je to nejdražší funkční část nástroje. Střižnice mají tvar obdélníkový, čtvercový nebo kruhový. Tloušťka střižnice H se volí v závislosti na šířce střižného otvoru b (vzdálenosti lišt):

$$b > 50 \text{ mm} \quad H = (0,35 \text{ až } 0,5) \cdot b$$

$$b > 200 \text{ mm} \quad H = (0,18 \text{ až } 0,3) \cdot b$$

$$b > 200 \text{ mm} \quad H = (0,12 \text{ až } 1,18).b$$

Šířka střížnice B se volí podle šířky pásu a výšky střížnice:

$$B = b + (2,5 \text{ až } 4).H$$

Délka střížnice je dána konstrukčním uspořádáním, a to podle rozložení stříhů, šroubů, kolíků a dorazů. Vzdálenost střížného otvoru od kraje nemá být menší než 30 mm.

6.3.2. Základová deska

Je umístěna pod střížnicí, tlumí rázy, vyrovnává nerovnosti stolu lisu a brání tak praskání kalené střížnice. Její tloušťka se volí:

$$H_2 = (1 \text{ až } 1,5).H$$

Šířka se dá určit ze vztahu:

$$B_1 = B + 40 \text{ až } 70 \text{ mm}$$

6.3.3. Kotevní deska, upínací deska

Slouží k upnutí střížníků a ke spojení s beranem lisu pomocí stopky. Střížníky se v kotevní desce upevňují roznýtováním nebo osazením, střížníky se složitým tvarem se kotví zalitím pryskyřicí do desky. Zalití je jednoduchý způsob kotvení, umožňuje snadné zhotovení kotevní desky. Velké střížníky mohou být opatřeny patkami a upevní se pak kolíky a šrouby. Mezi kotevní a upínací deskou je kalená ocelová vložka s tloušťkou $H_5 = 4 \text{ až } 5 \text{ mm}$.

Tloušťka kotevní a upínací desky se určuje ze vztahu:

$$H_3 = H_4 = (0,6 \text{ až } 0,8).H$$

6.3.4. Vodící lišty

Lišty vedou ručně či automaticky posouvaný pás nebo svitek v pracovním prostoru nástroje. Někdy stačí jedna lišta, ke které obsluha materiál přitlačuje. Při vedení dvěma lištami jsou obě pevné nebo jedna odpružená, která pak materiál přitlačuje. Pro snadnější a přesnější zavedení materiálu do nástroje se vodící lišty prodlužují na zaváděcí straně nástroje přibližně o 80 mm a podkládají se podpěrným plechem. U pevných lišt je vzdálenost b mezi nimi daná šířkou materiálu s zvětšenou o vůli 0,5 až 1,5 mm. Tloušťka lišty se volí podle tloušťky materiálu t :

$$H_6 = 2t$$

6.3.5. Vodící deska

Deska slouží k přesnému vedení střížníků. Ty během stříhání z ní nevyjíždí, pohybují se jen v rozsahu několika milimetrů. Vodící deska může mít zároveň funkci stírače odpadu při zpět-

ném zdvihu nástroje. Otvory pro vedení střížníků se zhotovuje v tolerancích $H7/h6$. Tloušťka desky se volí:

$$H_l = (0,8 \text{ až } 1) \cdot H$$

K přesnějšímu vedení horní části nástroje se používají vodící sloupky s valivými pouzdry. Zvyšuje se tím tuhost nástroje a jeho trvanlivost. Nástroj má větší zdvih horní části a montáž na lis je snazší. Vodící sloupky mají použití pro rozměrově větší nástroje a pro sdružené nástroje, kde při ohybu či tažení vznikají boční tlaky. Ukázka nástroje s vodícími sloupky a valivými pouzdra je na obr. 21.



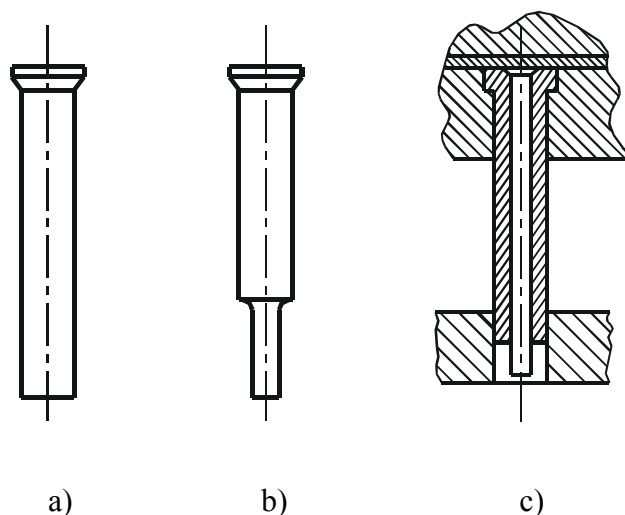
Obr. 21 - Nástroj s valivými pouzdry

6.3.6. Střížníky

Provedení střížníků závisí na jejich tvaru a rozměrech. Pro kulaté střížníky určené k děrování je důležitý poměr tloušťky stříhaného materiálu t a průměru střížníku d . Některé úpravy střížníků jsou zobrazeny na obr. 22:

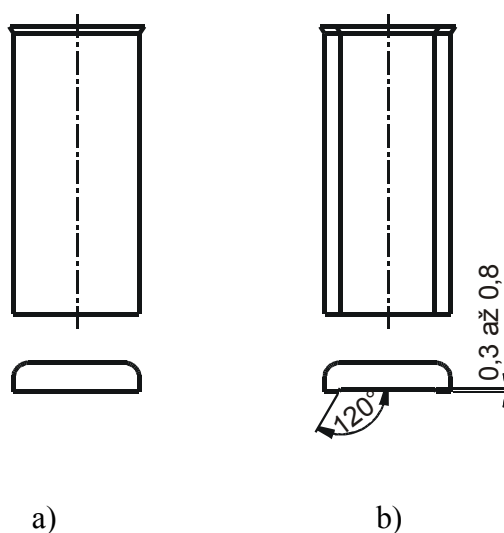
- pro $t/d > 0,6$ lze použít válcové provedení - obr. a,
- pro $t/d < 0,6$ se používá střížník s osazením o délce $(2 \text{ až } 3) \cdot d$ - obr. b,
- pro průměry střížníků menší než 5 mm se používá vedení po celé délce v pouzdře – obr. c.

Osazením střížníků nebo vedením v pouzdře se zvyšuje jejich pevnost a tím omezuje náchylnost ke zlomení vlivem vybočení z osy. Osazené střížníky se snadněji vyrábějí a lépe se lícují v kotevní i vodící desce. Válcové střížníky větších rozměrů (nad 50 mm) se zhotovují jako dělené. Tvarově složité nekulové střížníky mohou být tvořeny i několika dílci. Usnadní se tím jejich výroba a slícováním dílců vznikne požadovaný průřez. Střížníky mohou procházet až třemi deskami (upínací, kotevní, vodící) s jiným druhem uložení, volí se proto jejich uložení v soustavě jednotného hřídele.



Obr. 22 – Střížníky

Samostatnou skupinou střížníků jsou odstříhovače. Používají se u složitějších postupových nástrojů pro zajištění přesného kroku ve spojitosti s kaleným dorazem při ručním podávání materiálu. Odstříhovač odstříhává úzký proužek okraje pásu v délce kroku a šířce 1,5 až 2,5 mm. Provedení podle obr. 23a se používá pro nekovové materiály, provedení obr. 23b pro kovové materiály. Pro podávání materiálu tlačnými válečky nebo kleštinami nejsou odstříhovače příliš vhodné. Pro širší pásy a více operací se používají odstříhovače dva. Jeden v úrovni první operace a druhý na protější straně pásu za poslední operací. Kromě odstříhovačů se posun materiálu o krok zajišťuje též pomocí dorazů a hledáček.



Obr. 23 – Odstříhovače

6.3.7. Dorazy a hledáčky

Podle funkce se používají dorazy pevné, zpětné pružící, automatické a načínací. Dorazy se používají pro ruční podávání materiálu. Při podávání válečky nebo kleštinami nejsou nutné.

Pevný doraz nejčastěji v provedení jako kolík, je umístěn ve střížnici nebo vodící desce. Pracovník u lisu posune materiál během pohybu beranu vzhůru tak, aby pás překonal doraz a zapadl do otvoru po výstřižku. Minimální výška přesahu kolíkového dorazu nad střížnicí či vodící deskou je dvě tloušťky pásu.

Zpětný pružící doraz je zatlačen posouváním pásem a zpět jej tlačí do otvoru výstřižku pružina. Jejich nevýhodou je, že obsluha musí po posunutí pásu dopředu pás vrátit zpět na doraz. Jsou vhodné pro lisování z tlustšího materiálu.

U automatického dorazu je odpružený doraz zatlačen do střížnice kolíkem při pohybu kotevní desky se střížníky směrem do řezu. Je stejně jako střížníky umístěn v kotevní desce.

Načínací dorazy jsou nutné při vložení nového pásu. Jsou umístěny ve vybrání vodící lišty a obsluhuje je pracovník u lisu.

Hledáčky jsou nutné především u postupových nástrojů a také tam, kde se vyžaduje upravení přesné polohy pásu nutné např. pro souosost otvorů. Hledáček vystředí pás zapadnutím do otvorů děrovaných v předchozí operaci děrovacími střížníky. U výstřižků, kde otvory pro středění nejsou nebo nemají vhodnou polohu, se středící otvory vyděrují v odpadu pásu pomocnými střížníky. Pokud má střížník vhodný tvar a velikost, umísťují se hledáčky do nich, jak je zobrazeno na obr. 7.

6.3.8. Vyhazovače a stírače

Vyhazovače a stírače odstraní výstřižky z nástroje, pokud sami z různých důvodů nepropadnou dírou střížnice a základové desky. Vyhazovače vysunou výstřižek mimo střížnici silou pružiny nebo jsou vázány na pohyb beranu lisu.

Stírače se používají u nástrojů bez vodící desky. Odtlačí stříhaný pás, který by lpěl na střížnicích. U nástrojů s vodící deskou plní funkci stírače deska. Pokud stírače potřebují pro svoji funkci pružiny, jsou zejména u velkých nástrojů klasické šroubové ocelové pružiny nahrazovány pneumatickými pružinami. Znázornění stírače a vyhazovače je na obr. 11.

7. Střížný nástroj pro konkrétní součástku

7.1. Základní varianta

7.1.1. Zadání

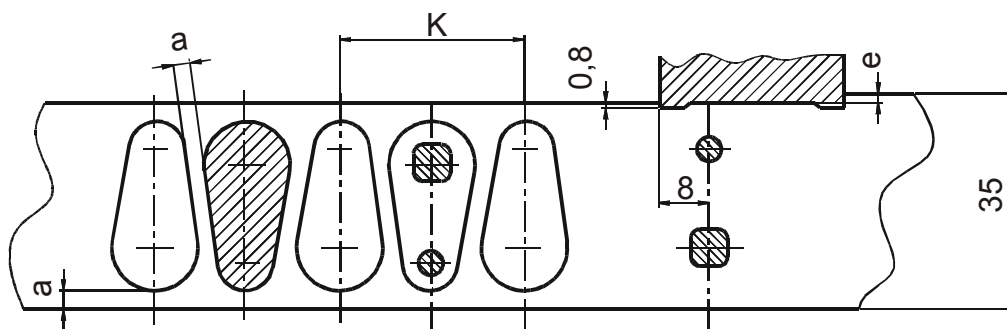
Navrhnout střížný nástroj pro součástku VAČKA, která je součástí podávacího mechanismu stroje používaného pro údržbu komunikací. Na vačku nejsou kladeny žádné mimořádné pevnostní požadavky. Materiál 11 373.0, drsnost povrchu $R_a = 3,2$. Požadovaný počet kusů pro základní variantu je 10 000 ks. Posun materiálu ručně obsluhou lisu z pásu oceli 35 x 3, ČSN 42 5350.2. Zajistit co nejlepší využití materiálu. Popsat možné řešení pro 100 000 ks.

7.1.2. Nástřihový plán

Nástřihový plán pro součástku VAČKA je na obr. 24. Volbou dvojnásobného nástroje se zajistí velmi dobré využití materiálu. Cena dvojnásobného nástroje oproti jednonásobnému je větší o 20%, produktivita práce je však dvojnásobná. Toto řešení zajistí účelné využití strojního času lisu. Zvolené hodnoty: $a = 3 \text{ mm}$, $e = 1,5 \text{ mm}$, krok $K = 30 \text{ mm}$, střížná vůle $v = (0,1 \text{ až } 0,05) \cdot t = 0,053 \cdot 3 = 0,16 \text{ mm}$, délka odstřihovače $= K + 0,2 = 30,2 \text{ mm}$.

Plocha výstřížku obvodu $S = 308 \text{ mm}^2$.

Celková délka obvodu všech stříhaných otvorů včetně odstřihovače: $l = 236 \text{ mm}$.



Obr. 24 – Nástřihový plán

7.1.3. Využití materiálu

$$x = \frac{2S}{K \cdot \xi} = \frac{2 \cdot 308}{30 \cdot 35} = 0,586 \quad \text{- využití materiálu je 58,6\%}$$

Využití materiálu pro jednonásobný nástroj při kroku $K = 17 \text{ mm}$:

$$x = \frac{S}{K \cdot \xi} = \frac{308}{17 \cdot 35} = 0,517 \quad - \text{využití materiálu je } 51,8\%$$

7.1.4. Střížná síla

Určení síly z meze pevnosti ve smyku:

Pro materiál 11 373.2 je mez pevnosti v tahu $\sigma_{Pt} = 330 \div 450 \text{ MPa}$.

Mez pevnosti ve smyku: $\tau_{Ps} = 0,8 \cdot \sigma_{Pt} = 0,8 \cdot 450 = 360 \text{ MPa}$

Teoretická střížná síla: $F_t = l \cdot t \cdot \tau_{Ps} = 236 \cdot 3 \cdot 360 = 254\,880 \text{ N}$

Skutečná střížná síla: $F_s = k \cdot F_t = 1,7 \cdot 254\,880 = 433\,296 \text{ N}$

Určení střížné síly pomocí střížného odporu k_s :

$k_s = 360 \text{ MPa}$, $k_1 = 1,2$; $k_2 = 1,14$; sílu pro setření a vyhození zanedbáme.

$$F_s = k_1 \cdot k_2 \cdot l \cdot t \cdot k = 1,2 \cdot 1,14 \cdot 236 \cdot 3 \cdot 360 = 348\,676 \text{ MPa}$$

Vzhledem k oběma výpočtům je nutný lis se silou 500 kN.

7.1.5. Grafické řešení umístění stopky

Grafickým řešením na obr. 25 zjišťujeme umístění stopky nástroje tak, aby byla ve směru výslednice všech sil působících ve střížnících.

Délky střížných hran:

- hrana obvodu vačky: $l_1 = 71 \text{ mm}$
- hrana čtvercového otvoru: $l_2 = 18,3 \text{ mm}$
- hrana kruhového otvoru: $l_3 = 12,6 \text{ mm}$
- hrana odstřihovače: $l_4 = 34,3 \text{ mm}$

Síly na střížnících:

- $F_1 = l_1 \cdot t \cdot \tau_{Ps} = 71 \cdot 3 \cdot 360 = 76\,680 \text{ N}$
- $F_2 = l_2 \cdot t \cdot \tau_{Ps} = 18,3 \cdot 3 \cdot 360 = 19\,764 \text{ N}$
- $F_3 = l_3 \cdot t \cdot \tau_{Ps} = 12,6 \cdot 3 \cdot 360 = 13\,608 \text{ N}$
- $F_4 = l_4 \cdot t \cdot \tau_{Ps} = 34,3 \cdot 3 \cdot 360 = 37\,044 \text{ N}$

Zvolená měřítko:

měřítka délek $m_l : 1 \text{ mm} \cong 1 \text{ mm}$

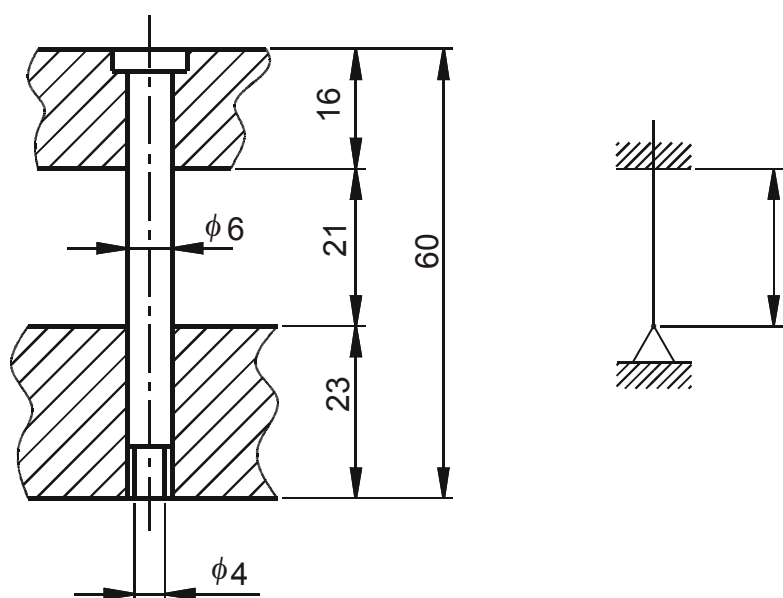
měřítka sil $m_F : 1 \text{ mm} \cong 2\,000 \text{ N}$

Výsledkem grafického řešení je vzdálenost 42 mm osy stopky od osy odstřihovače.

7.1.6. Pevnostní kontrola střížníků

Střížníky jsou namáhány na tlak či vzpěr, což se posuzuje podle štíhlostního poměru λ (lambda). Prut podle obr. 26 představuje III. případ vzpěru, kdy vzpěrná délka: $l_0 = 0,7l = 0,7 \cdot 21 = 14,7$.

Kontrola střížníku s průměrem 6 mm :



Obr. 26 - Střížník

$$\lambda = \frac{l_0}{j} = \frac{l_0}{\sqrt{\frac{J}{S_3}}} = \frac{14,7}{\sqrt{\frac{63,62}{28,27}}} = 9,8$$

$$J = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{\pi \cdot 6^4}{64} = 63,62 \text{ mm}^4$$

$$S_3 = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 6^2}{4} = 28,27 \text{ mm}^2$$

Veličiny ve vzorcích jsou: j ... poloměr kvadratického momentu [mm]
 J ... kvadratický moment plochy [mm⁴]
 S_3 ... plocha průřezu střížníku [mm²]

Na základě zjištěného štíhlostního poměru bude střížník namáhán na prostý tlak:

$$\sigma_d = \frac{F_3}{S_3} = \frac{13\,608}{28,27} = 481 \text{ MPa} \quad \sigma_{Dd} = 600 \text{ MPa} \dots \text{střížník vyhovuje}$$

Kontrola střížníku s průměrem 8 mm:

Vzhledem k většímu průměru a stejné vzpěrné délce bude i tento střížník namáhán na tlak.

$$S_2 = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 8^2}{4} = 50,26 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_d = \frac{F_2}{S_2} = \frac{19\,764}{50,26} = 393 \text{ MPa} \quad \dots \quad \text{střížník vyhovuje}$$

7.1.7. Sestava nástroje

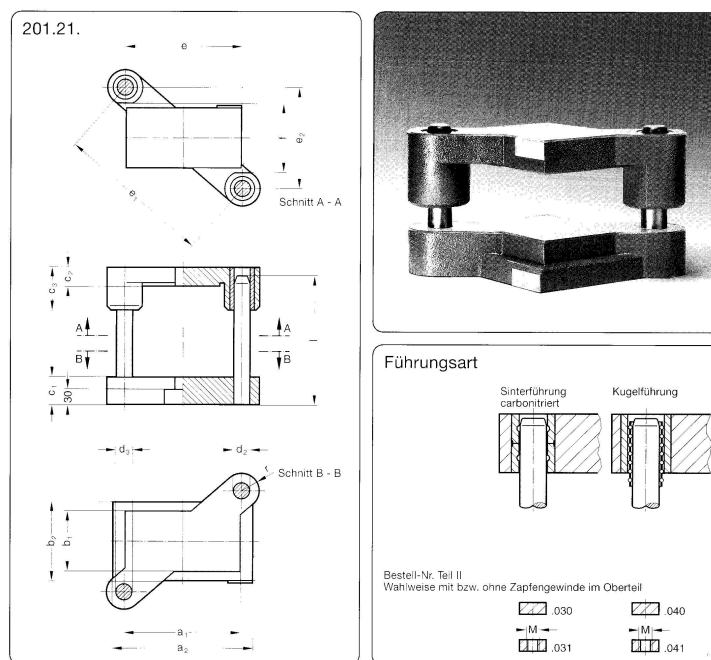
Pro součástku podle požadavku na využití materiálu byl zvolen postupový jednořadý dvojnásobný nástroj. Krok zajistí doraz vytvořený ve vodící liště spolu s odstříkovačem. Přesnost nastavení pásu je zajištěna hledáčky umístěnými ve střížnicích tvaru.

Pro části nástroje střížníky, střížnice, odstříhovač, vodící lišty a vložku byl zvolen materiál 19 312. Z tohoto materiálu by se zhotovily i vodící sloupky, pokud je nelze spolu s valivými vodícími pouzdry objednat od výrobce. Jiná možnost je zhotovit kluzná vodící pouzdra z oceli 19 312 spolu s tepelným zpracováním - kalením. Pro další části základovou desku, vodící desku, kotevní desku a upínací desku byl zvolen materiál 11 523. Pro zadaný počet kusů není nutné u střížníků a střížnice povlakování. Většina nástrojáren pro svoji výrobu skladuje omezený sortiment nástrojových ocelí. Proto byly pro nástroj voleny výše uvedené materiály.

Materiál 19 312 je nízkolegovaná uhlíková mangan-chrom-vanadová ocel. Má střední prokalitelnost při kalení v oleji a zvláště dobrou stálost při tepelném zpracování, dobrou obrobitelnost v žíhaném stavu. Chemické složení: C = 0,85 %, Mn = 2 %, Si = 0,3 %, Cr_{MAX} = 0,2 %, V = 0,15 %. Kalení v oleji při 760 °C, popouštění na 200 °C. Dosahovaná tvrdost se pohybuje v rozmezí 60 až 64 HRC. Mez pevnosti v tahu σ_{Pt} je okolo 900 MPa.

Materiál 11 523 je uhlíková ocel s obsahem C = 0,2 %, Mn_{MAX} = 1,5 %, Si_{MAX} = 0,55 %. Má zaručenou svařitelnost. Mez pevnosti v tahu σ_{Pt} je okolo 600 MPa.

Používání normalizovaných a typizovaných částí nástrojů v konkrétní nástrojárně je ovlivněno řadou činitelů. K důležitým patří např. dostupnost na trhu, cena a výrobní kapacita nástrojárny. Právě z důvodu využití kapacity se často z normalizovaných či typizovaných částí berou při konstrukci pouze rozměry a výroba je vlastní. V českých normách jsou uvedeny téměř všechny části střížných nástrojů. Např. norma ČSN 226273 obsahuje střížné skříně. Jsou tvořeny základovou deskou, vodícími sloupky s pouzdry a upínací deskou. V jiných normách jsou vodící pouzdra, stopky, střížníky a mnoho dalších. Díly střížných nástrojů nabízí v rámci Evropské unie řada firem. Na obr. 27 je ukázka střížné skříně z katalogu společnosti FIBRO GmbH. Cena navrženého nástroje by se pohybovala okolo 120 000 Kč.



Obr. 27 – Střižná skříň FIBRO

7.2. Střižný nástroj pro hromadnou výrobu

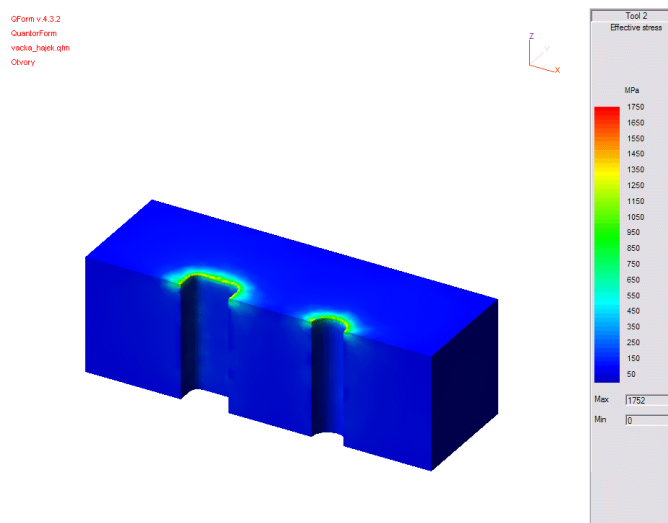
Pro zadanou součástku představuje hromadná výroba minimálně 100 000 kusů výrobků. U takto namáhaného nástroje s požadovanou velkou životností je doporučeno volit místo materiálu 19 312 materiál 19 436. Je to střednělegovaná uhlíková chromová ocel s chemickým složením $C = 2 \%$, $Cr = 12 \%$. Pro tepelné zpracování jsou doporučené hodnoty - kalení v oleji při $980 \text{ }^{\circ}\text{C}$, popouštění na $200 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Také lze použít termální kalení do lázně o teplotě $450 \text{ }^{\circ}\text{C}$ nebo kalení proudem vzduchu. Tvrdost po kalení je stejná jako u oceli 19 312. Pro střižnici a střižníky je vhodné použít PVD povlak, konkrétně např. LUBRIK G nebo MARWIN TiN. Zaručená životnost je pak minimálně 50 000 i více výstřižků. Použité a opotřeбенé nástroje lze opět přepovlakovat.

Pro hromadnou výrobu se většinou používá podávání materiálu ze svitků pomocí válečkových či kleštinových podavačů a rovnacího zařízení. Podavač spolu s hledáčky ve střižnicích zajistí přesný krok, není tedy nutný u nástroje odstříhovač. Cena nástroje bude stejná jako při malo-sériové výrobě, náklady na povlakování jsou kompenzovány vypuštěním odstříhovače. O něco bude menší střižná síla, nově se musí vyřešit umístění stopky.

7.3. Simulace práce nástroje

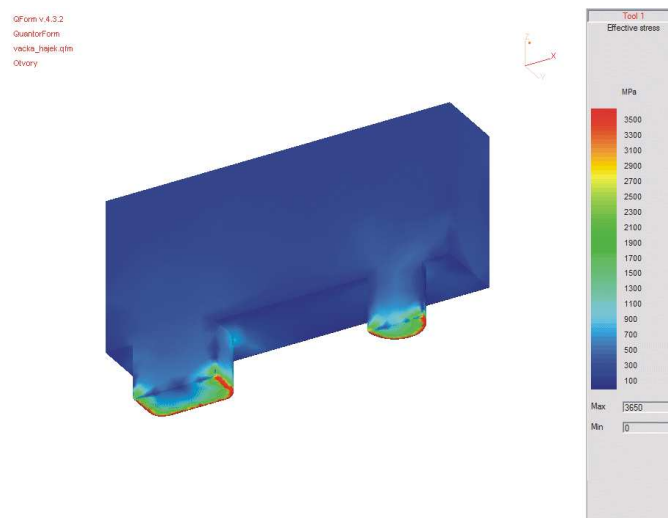
Simulace stříhání součásti VAČKA je realizována v programu QForm. Jeho název tvoří zkratka ze slov Quick Metal Forming Simulation. Je založen na propracovaných algoritmech metody konečných prvků, simulace odpovídá reálnému procesu stříhání. Kromě napětí ve střížnici a střížnicích otvorů i obvodu vačky lze sledovat průběhy teplot a rozložení sil při stříhání.

- Průběh napětí ve střížnici otvorů je na obr. 28. Z průběhu lze vidět, že největší napětí je na střížných hranách. Jeho velikost je okolo 1 300MPa.



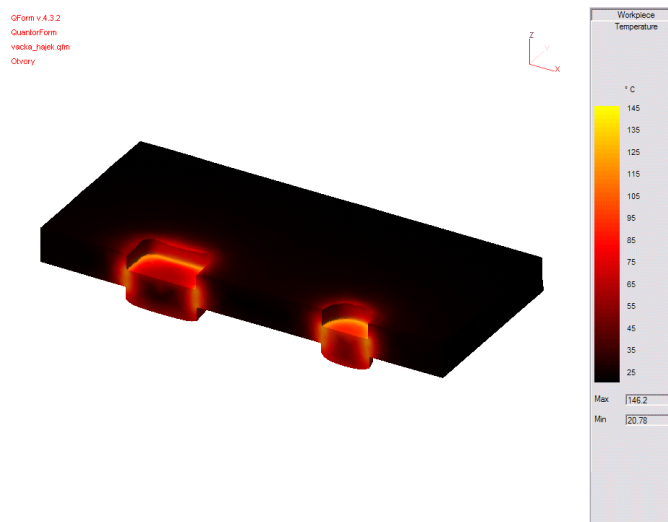
Obr. 28 – Napětí ve střížnici otvorů

- Průběh napětí ve střížnicích otvorů je na obr. 29. Podobně jako u předchozího obrázku je největší napětí na střížných hranách a pohybuje se okolo 3 300 MPa.



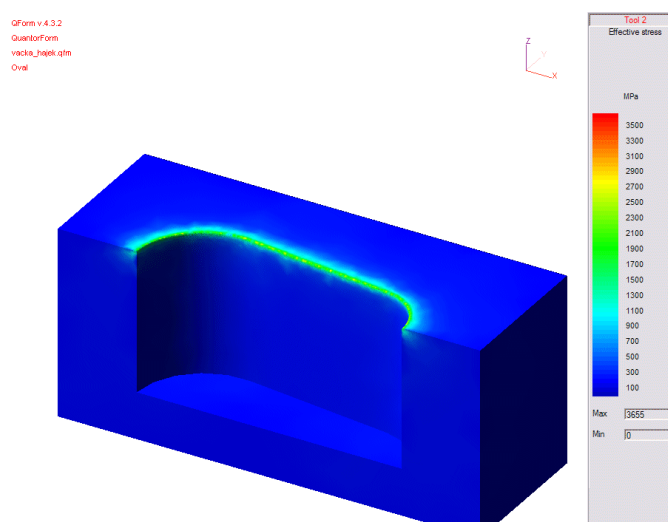
Obr. 29 – Napětí ve střížnicích otvorů

- Průběh teplot u střížnice i střížníků při stříhání otvorů je na obr. 30. Největší je na hranách střížníků a pohybuje se okolo 140 °C.



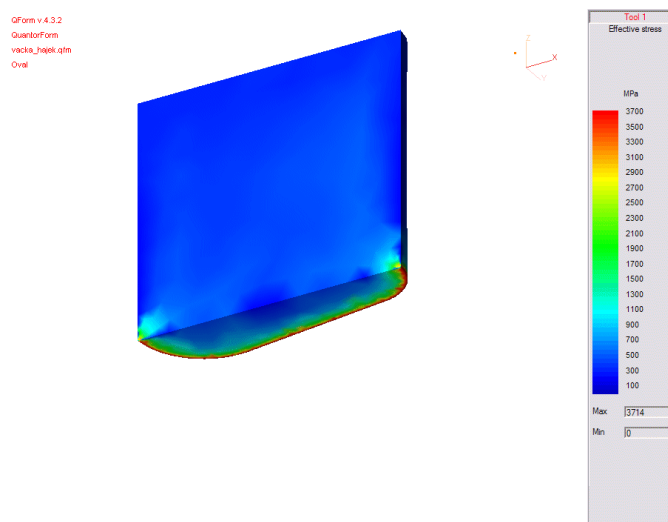
Obr. 30 – Průběh teplot při stříhání otvorů

- Průběh napětí ve střížnici při stříhání obvodu vačky je na obr. 31. Největší napětí je na hranách a pohybuje se okolo 2 700 MPa.



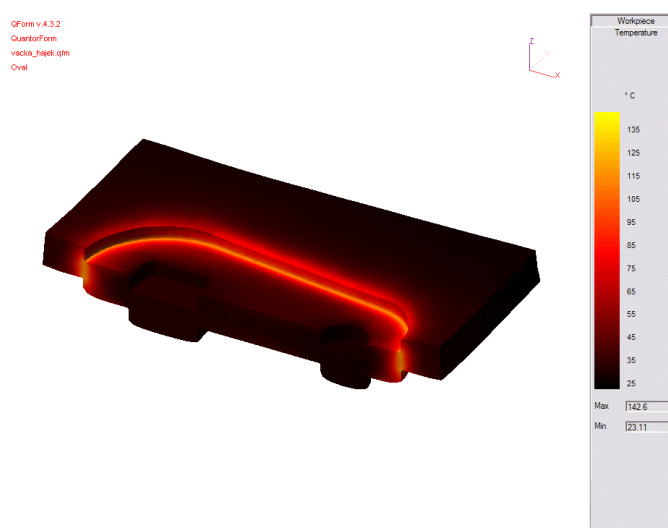
Obr. 31 – Napětí ve střížnici obvodu vačky

- Průběh napětí ve střižníku obvodu vačky je na obr. 32. Podobně jako u střižníků otvorů je největší napětí na hraně. Jeho velikost se pohybuje okolo 3 300 MPa.



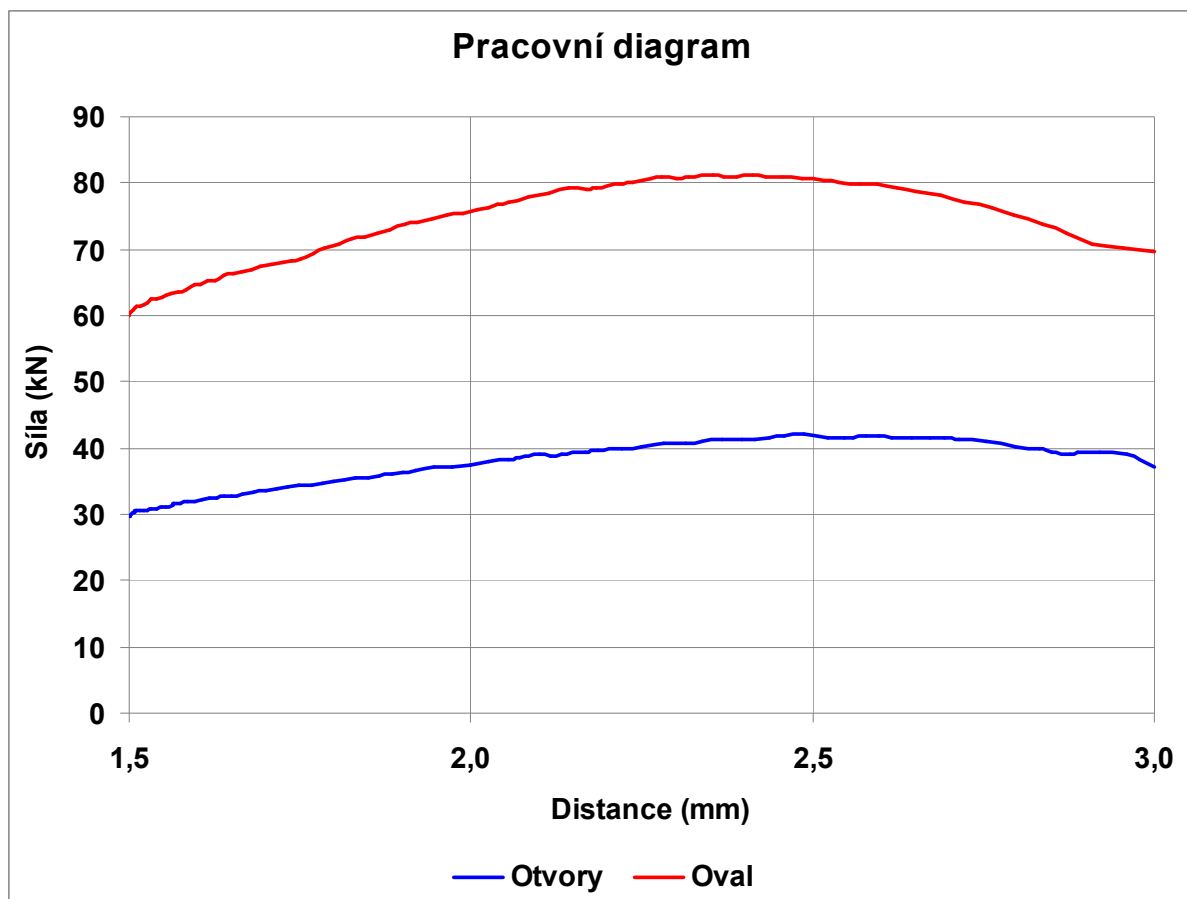
Obr. 32 – Napětí ve střižníku obvodu vačky

- Průběh teplot při stříhání obvodu vačky je na obr. 33. Největší teplota je na hraně střižníku, na hraně střižnice je menší.



Obr. 33 – průběh teplot při stříhání obvodu vačky

- Pracovní diagram průběhu sil při stříhání otvorů i obvodu vačky je na obr. 34. Velikosti maximálních sil v diagramu odpovídají výpočtům v kapitole 7.1.5. Menší odlišnost početního řešení je dána volbou velikosti meze ve smyku.



Obr. 34 – Pracovní diagram

8. Závěr

Česká republika má ve výrobě a konstrukci kvalitních nástrojů dlouholetou tradici. Nárůst výroby automobilů s roční produkcí bezmála jeden milion kusů činí z České republiky jednoho z největších výrobců ve světě v přepočtu na počet obyvatel. Tento nárůst klade i vysoké požadavky na produkci nástrojů, zejména pak nástrojů pro tváření. Každý automobil obsahuje velké množství součástí, kde se tvářecí operace při jejich výrobě uplatňují. Jejich kvalita se pak odráží v celkové kvalitě automobilu.

Technický pokrok při výrobě nástrojů za posledních 20 let byl značný. Zavedení drátových řezaček, které umožňují řezání kalených materiálů s velkou přesností a CNC obráběcích center zcela změnil výrobní postupy a zvýšil skokově produktivitu práce téměř dvojnásobně. V oblasti konstrukce se rychle prosadilo zavádění CAD systémů. Zejména pak systémy III. generace zcela změnily filozofii konstrukční práce, neboť umožňují sestavit parametrický 3D model a z něho odvodit jednotlivé detaily. V oblasti životnosti nástrojů a jejich údržby se prosazuje povlakování nástrojů a to jak nových, tak i opotřebovaných s mnohonásobným zvýšením životnosti.

Celou problematiku technického pokroku při konstrukci a výrobě nástrojů se snažila tato práce shrnout a osvětlit. Je však potřeba konstatovat, že je to téma značně složité a náročné na zkušenosti. Proto bych chtěl závěrem poděkovat pracovníkům z firem KARST s.r.o, nástrojárna Postřelmov a SHM, s.r.o. Šumperk, kteří mi umožnili konzultovat některé konkrétní problémy z této oblasti. Poděkování patří i vedoucímu diplomové práce prof. Ing. Jiřímu Hrubému za cenné připomínky a pomoc při tvorbě této práce.

9. Seznam použité literatury

- [1] Frank, A. a kol.: Výrobní pomůcky, SNTL Praha 1978
 - [2] Boček, L.: Střížné nástroje pro malosériovou výrobu, SNTL Praha 1983
 - [3] Březina, R.: Speciální technologie – Technologie tváření, VŠB Ostrava 1985
 - [4] Kotouč, J. a kol.: Tvářecí nástroje, ČVUT Praha 1993
 - [5] Leinveber, J. a kol.: Strojnické tabulky, Scientia Praha 1998
 - [6] Vrzal, B. a kol.: Strojnické tabulky, SNTL 1972
 - [7] Dorazil, E., Hrstka, J.: Strojírenské materiály a povrchové úpravy, VUT Brno 1987
 - [8] Hluchý, M. a kol.: Nauka o materiálu, SNTL Praha 1978
 - [9] Paňák, R.: Tepelné zpracování kovů, Krajský pedagogický ústav Olomouc 1970
 - [10] Fořt M., Kletečka J.: AutoCAD 2000, Computer Press, Praha 1999
 - [11] Hlásek, P.: Technologická cvčení, SNTL Praha 1982
 - [12] Presentační CD fi. KARSIT s.r.o., nástrojárna Postřelmov
 - [13] Prospekty fi. SHM, s.r.o Šumperk
- Některé informace byly získávány pomocí internetu – www.google.cz

10. Přílohy

1. Střížný nástroj – sestava DP-PH-000
2. Vačka – detailní výkres DP-PH-100

.

LIST 1 7 2 LISTU

1	2	3	4																																												
A																																															
B																																															
C	<div></div>																																														
D																																															
E	<table><tr><td>MATERIÁL</td><td>11 373.0</td><td rowspan="4">INDEX</td><td rowspan="4">ZMĚNA</td><td rowspan="4">DATUM</td><td rowspan="4">PODPIS</td></tr><tr><td>POLOTOVAR</td><td>35 X 3 ČSN 425350.2</td></tr><tr><td>TOLEROVÁNÍ</td><td>ISO 8015</td></tr><tr><td>PŘESNOST</td><td>ISO 2768-mK</td></tr><tr><td>PROMÍTÁNÍ</td><td></td><td>POZNÁMKA</td><td>TŘ. ODPADU</td><td colspan="2" rowspan="2">MĚŘÍTKO 2:1</td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td>HMOTNOST 0.01</td></tr><tr><td>NAVRHL</td><td>HÁJEK</td><td>SCHVÁLIL</td><td>SEST.</td><td colspan="2">KUSOVNÍK</td></tr><tr><td>PŘEZKOUŠEL</td><td>DATUM 27.3.2009</td><td>ST. V.</td><td>FORMÁT</td><td colspan="2">A4</td></tr><tr><td colspan="2" rowspan="2"></td><td colspan="4">NÁZEV VAČKA</td></tr><tr><td colspan="4">ČÍSLO VÝKRESU DP-PH-100</td></tr></table>			MATERIÁL	11 373.0	INDEX	ZMĚNA	DATUM	PODPIS	POLOTOVAR	35 X 3 ČSN 425350.2	TOLEROVÁNÍ	ISO 8015	PŘESNOST	ISO 2768-mK	PROMÍTÁNÍ		POZNÁMKA	TŘ. ODPADU	MĚŘÍTKO 2:1					HMOTNOST 0.01	NAVRHL	HÁJEK	SCHVÁLIL	SEST.	KUSOVNÍK		PŘEZKOUŠEL	DATUM 27.3.2009	ST. V.	FORMÁT	A4				NÁZEV VAČKA				ČÍSLO VÝKRESU DP-PH-100			
MATERIÁL	11 373.0	INDEX	ZMĚNA	DATUM	PODPIS																																										
POLOTOVAR	35 X 3 ČSN 425350.2																																														
TOLEROVÁNÍ	ISO 8015																																														
PŘESNOST	ISO 2768-mK																																														
PROMÍTÁNÍ		POZNÁMKA	TŘ. ODPADU	MĚŘÍTKO 2:1																																											
			HMOTNOST 0.01																																												
NAVRHL	HÁJEK	SCHVÁLIL	SEST.	KUSOVNÍK																																											
PŘEZKOUŠEL	DATUM 27.3.2009	ST. V.	FORMÁT	A4																																											
		NÁZEV VAČKA																																													
		ČÍSLO VÝKRESU DP-PH-100																																													
F	<div>LIST 1 Z 1 LISTŮ</div>																																														